

第3章 定点疲労試験

3.1 試験方法

3.1.1 試験機

定点载荷試験機は、国土技術政策総合研究所内の試験機を使用する。試験機の概要は、図 3.1.1 のとおりである。

2. 疲労試験機(60t/90t)

■形 式 電気油圧式

■性 能

荷 重 静的±90t、動的±60t

ストローク ±50mm(全100mm)

繰返し速度 0～12Hz

制御方式 荷重、変位

波 形 正弦波、台形波、ランプ波
プログラム波

■供試体寸法

引張試験 丸材 1,800h×10～60φmm

平材 1,800h×5～50t×200wmm

圧縮試験 1,800h×500t×500wmm

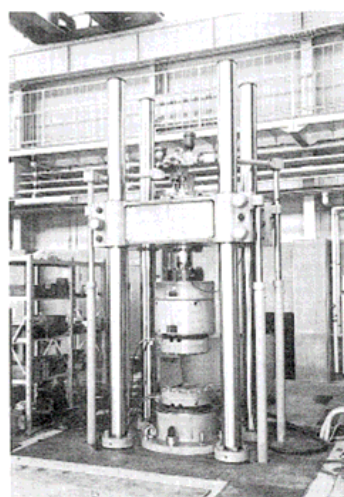


図 3.1.1 疲労試験機

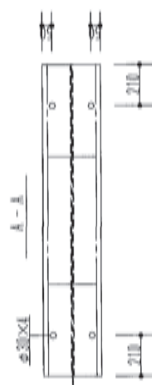
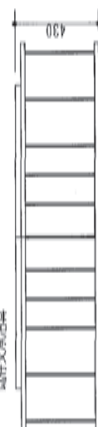
3.1.2 供試体

試験ケースは表 3.1.1 に示すように、デッキプレート板厚を 12, 14, 16, 19mm、トラフリブの板厚を 6, 8mm としてこれらを組み合わせた横リブ交差部の鋼床版部分供試体への定点一定荷重振幅の疲労試験である。供試体の詳細は図 3.1.2 に示す。デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手は、実橋の条件に近くなるようにパネルライン（自動溶接機）により溶接した。なお供試体はき裂の検出とゲージの添付のために無塗装である。

計測位置を図 3.1.3 に示す。ひずみゲージは、デッキプレート貫通き裂の起点となる可能性の高い横リブ交差部で横リブ中心から 5mm 離れた位置のデッキプレートおよびトラフリブに設置した。このとき既往の同種の実験と同様にデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接のビード止端からの離れは 5mm と 40mm の 2 カ所を基本とした。

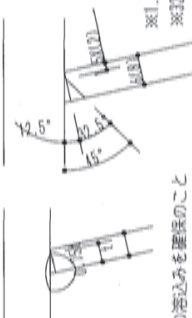
表 3.1.1 供試体の種類・条件

供試体名	デッキ厚 (mm)	Uリブ厚 (mm)
D12U6	12	6
D12U8	12	8
D14U6	14	6
D14U8	14	8
D16U6	16	6
D16U8	16	8
D19U8	19	6
D19U8	19	8



供試標本	試	tr
D12U6	12	6
D12U8	12	8
D14U6	14	6
D16U6	16	6
D14U8	14	8
D16U8	16	8
D19U8	19	6
D14U6	19	8

- | | |
|---|---------------------------------|
| 1 | 1-Deck PL 300x12x1600(SM490VA) |
| 2 | 1-Web PL 600x12x1600(SM490VA) |
| 3 | 1-L-Fig 300x12x1600(SM490VA) |
| 4 | 2-U-Rib 300x240x12x200(SM490VA) |
- 2-フロアプレート 200×15×200
φ30×4 丸形
Deck PLはφ13mmのもののみSM400A



75以上の海込みを確保のこと

- 注) 1. テッキプレートとリブの溶接はパネラライン(自動溶接機)により実施すること。
2. 部材は全て無塗装とする。
3. テッキにリブを溶接は200mmに切り出す事。

図 3.1.2 供試体寸法

目的：構造的な特性の違いを把握する
 載荷：シングルタイヤを想定。200×15×200の硬質ゴムを介して載荷する。
 電裂発生後の断面観察法方：
 UTで認識した亀裂発生箇所にはコアを抜き、観察する

設置するゲージの意味
 方針：土研の実験、橋建の実験の測定箇所を参考に、
 極力比較できる箇所を測定する。
 ひずみゲージは、いずれも橋軸方向とし、ゲージ長1mmとする。
 いずれも横桁の中心から橋軸方向に5mmずらした位置に添付する。

▲ 貼り付けを優先するゲージ
 ① デッキ貫通亀裂に対する感度が高い（輪荷重との比較）
 ② 溶接部の局部応力の測定（輪荷重・橋建の実験との比較）
 ③⑤⑦ 溶接部の局部応力の測定
 ④ デッキの応力の測定
 ⑩ 輪荷重との比較用
 ▲ 必要に応じて貼り付けを減らすゲージ
 ⑥ デッキの応力の測定（輪荷重との比較）
 ⑧ Uリブの応力の測定（輪荷重との比較）
 ⑧ 軸力と曲げの分離用
 ■ 変位計(4箇所)
 偏心していないかどうか確認するため

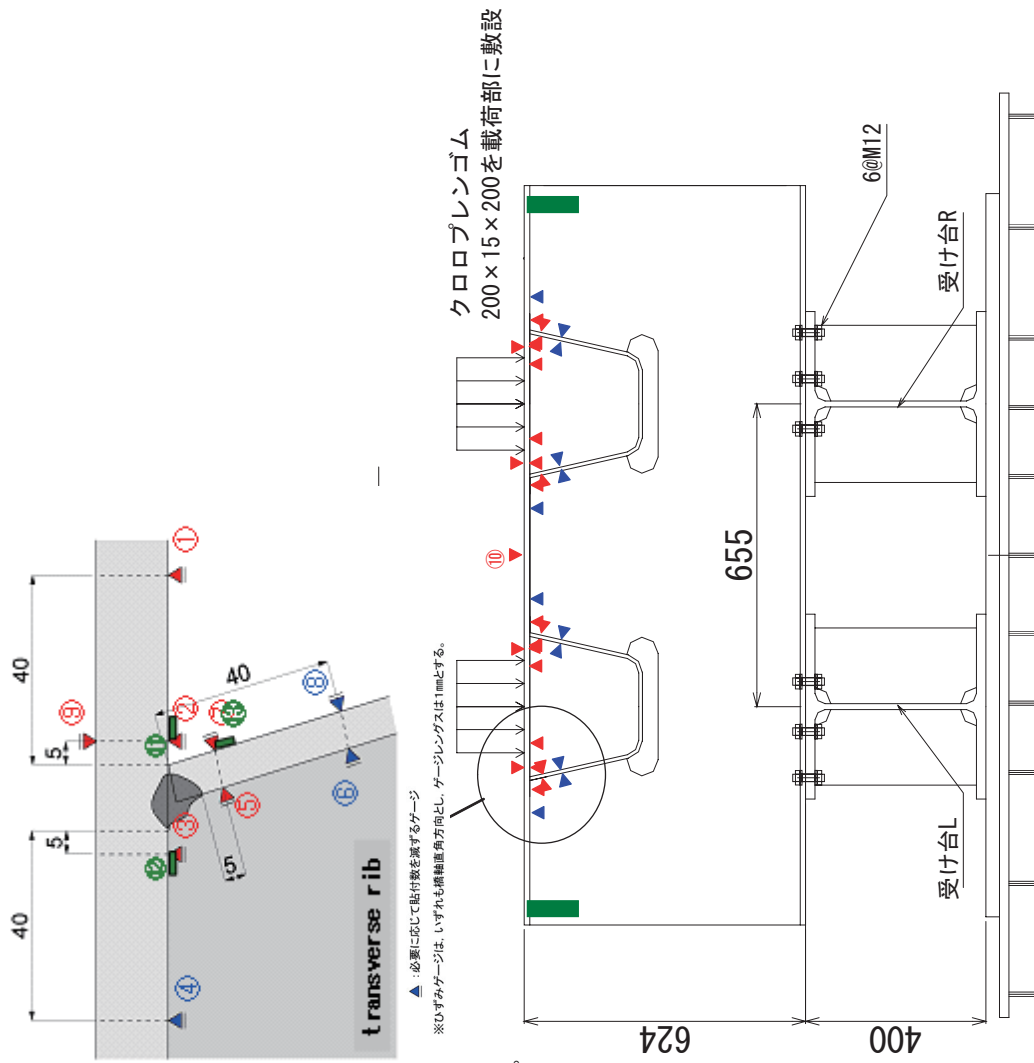


図 3.1.3 計測位置

3.1.3 載荷方法

供試体の設置状況を、図 3.1.4 及び写真 3.1.1, 写真 3.1.2 に示す。載荷は、デッキプレート上面側から 2 本のトラフリブそれぞれの中心位置に大型車のシングルタイヤを想定した $200 \times 200 \text{mm}$ の設置面を設定し、2 箇所同時に載荷する。なお、供試体はデッキプレート上面に舗装がないため鋼製の載荷板と供試体の間には写真 3.1.3, 写真 3.1.4 に示す硬質ゴム（板厚 15mm ）を設置した。

この試験方法では載荷重がゼロとなって載荷板と供試体に離間を生じた段階でひずみゲージの値が安定しなくなることが想定されることから、離間を生じないように最小載荷重を 10kN とし、最大載荷重は 110kN として正弦波に従う 100kN の荷重変化を与えた。載荷速度は試験監視体制とひずみゲージの応答の状況に応じて $1 \sim 9 \text{Hz}$ の間で同じ供試体に対する一連の疲労試験の間も適宜変化させている。載荷条件の詳細を表 3.1.2 に示す。

なお、D12U6～D16U6 については、試験期間の都合上 50 万回で試験を一旦中断し、期間をおいて再開したため、試験再開後のひずみゲージの値が試験中断前とずれを生じたため、載荷状態を確認した上で値のずれを補正（試験再開時オフセット）して整理した。

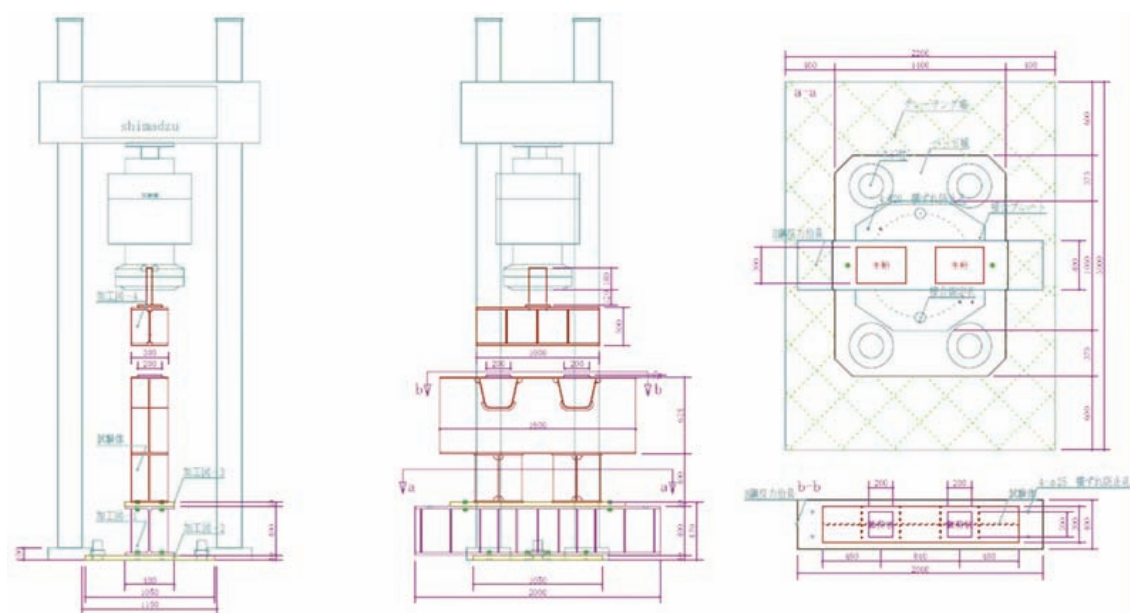


図 3.1.4 設置方法



写真 3.1.1 供試体設置状況



写真 3.1.2 治具との設置方法



写真 3.1.3 クロロプレンゴム仕様



写真 3.1.4 クロロプレンゴム全景
(ゴム購入時 500mm×15mm×500mm)

表 3.1.2 試験条件

供試体名	定点繰返し載荷			試験再開時 オフセット 有無
	繰り返し荷重 (kN)	基準周波数 (Hz)	夜間周波数 (Hz)	
D12U6	10～110	4.0～4.3	0.9～1.1	有り
D12U8		5.3～6.2	1.5～2.0	有り
D14U6		6.5～6.6	2	有り
D14U8		7	1.0～1.2	有り
D16U6		7.5	1	有り
D16U8		5.0～8.0	1.0～2.0	無し
D19U6		9	1.0～1.5	無し
D19U8		9	1.5	無し

* オフセットとは試験中断期間の経時変化によるひずみゲージの値の変化を試験中断前のイニシャル値と整合するよう再開時点でのイニシャル値を補正した値を計測値とする。

3.1.4 き裂の確認方法

(1) 概要

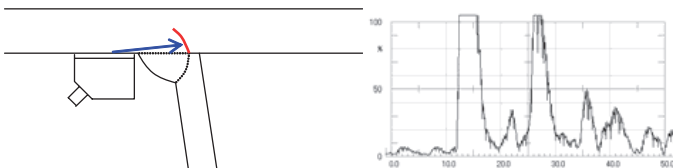
本試験は、デッキプレート貫通き裂の発生を意図したものとなっており疲労試験中に目視や磁粉などの外観からの観察ではき裂の発生・進展を確認することが困難である。そのため载荷試験の実施中は、ひずみゲージの値の変化に注意する以外に、超音波探傷試験を行ってき裂の発生と進展を推定する。また载荷試験終了後には、超音波探傷試験を行ったのち供試体を破壊して直接内部のき裂の状況を確認した。

(2) 超音波探傷試験

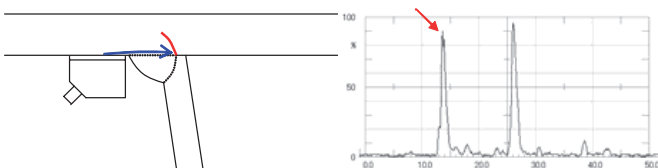
超音波探傷試験は、亀裂の発生と進展の程度の推定を目的に、試験前の初期探傷、50 万回、100 万回、200 万回時に行った。

片側からの部分溶け込み溶接となっているトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接継手ではルート形状や位置が必ずしも一定でなく、超音波探傷試験はデッキプレート内部を上方に向かうき裂の有無の検出を最優先に 90° 縦波斜角探傷、SH（表面）波による探傷を行った。デッキプレート内部に向かうきずからのエコーが確認された後は、その範囲を特定できるように 70° の斜角による探傷を実施した。図 3.1.5 に探傷方法の概念図、写真 3.1.5 に探傷対象の名称を示す。

■90° 縦波斜角-----初期探傷、き裂の有無の確認



■SH(表面)波-----初期探傷、き裂の有無の確認



■斜角探傷(斜角70° の集束型探触子)-----き裂発見後、深さ、範囲の確認

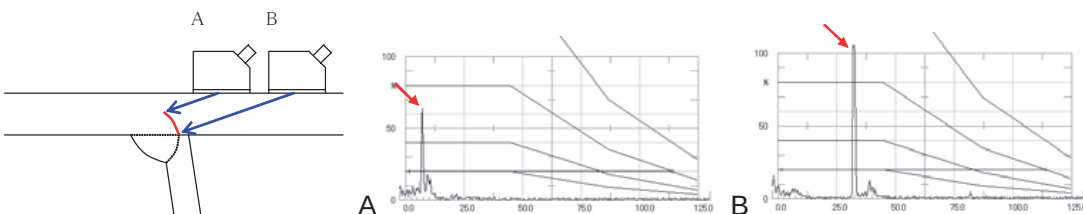


図 3.1.5 探傷方法と評価の概念図

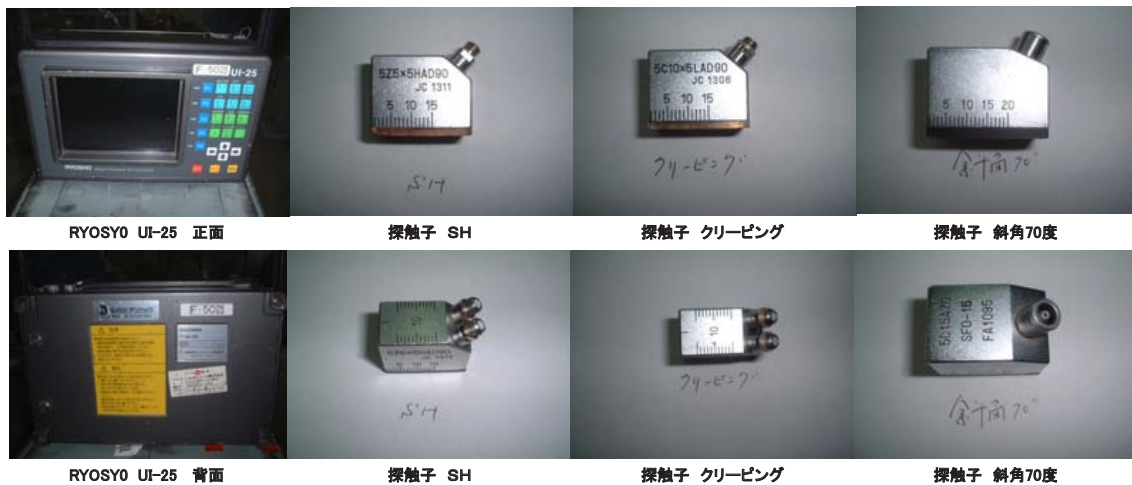


写真 3.1.5 超音波探傷機

(3) 破壊試験

供試体毎のき裂の進展状況の確認と超音波探傷によるき裂進展状態の推定精度の確認を目的に、所定の 200 万回の定点载荷試験後に、供試体を液体窒素を用いて冷却してハンマーで低温脆性破壊させ、き裂の状況を確認した。切断状況を写真 3.1.6～3.1.10 に示す。



写真 3.1.6 切断状況① エンジンカッター作業



写真 3.1.7 切断状況②



写真 3.1.8 切断状況①切断終了試験片



写真 3.1.9 切断状況②切断終了試験片



写真 3.1.10 低温脆性破壊状況（液体窒素挿入 1 供試体当たり 10L 程度）

(4) 静的載荷時のひずみの計測

き裂の発生・進展に伴って供試体の耐荷力機構に変化が生じることから同じ載荷状態に対するひずみゲージの値には変化が生じることが想定される。そのためき裂の発生と進展状況の推定のために、10 万回までは 5 千回ごと、以降は 10 万回ごとに 200 万回まで疲労試験の途中で静的載荷を行って各ひずみゲージの値を記録した。

静的載荷は最大 110kN まで 20kN ピッチの段階的に載荷（0kN→10kN→30kN→50kN→70kN→90kN→110kN→90kN→70kN→50kN→30kN→10kN）を行った。

3.2 試験結果

3.2.1 き裂範囲の推定方法

超音波探傷試験は、き裂の発生と進展の程度の推定を目的に、試験前の初期探傷、50 万回、100 万回、200 万回時に実施することを基本とした。推定き裂の範囲は、トラフリブとデッキプレートの縦方向溶接線方向（トラフリブ軸方向）長さを x ，トラフリブ軸に直交しデッキプレート面に平行な方向でトラフリブとデッキプレートの縦方向溶接の推定ルート位置からき裂先端までの距離を y ，デッキプレート面直交方向にデッキプレート下面からき裂先端位置までの距離（高さ）を z ，と定義して比較する。推定き裂範囲の定義を図 3.2.1 に示す。

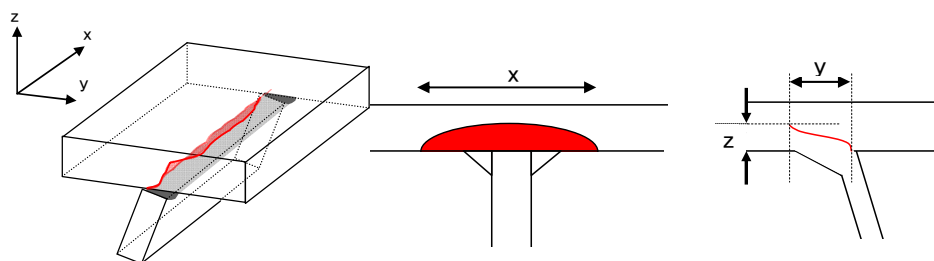


図 3.2.1 き裂の方向の定義

デッキプレート貫通き裂は、起点位置と進展方向、き裂範囲の形状が必ずしも同じ傾向とならないため、定義したき裂推定範囲から「き裂面積 A 」を式 3.2.1 また「き裂の道のり L 」を式 3.2.2 のように定義して比較に用いる。

$$A(\text{き裂の面積}) = \frac{(\text{き裂の範囲 } x) \times \sqrt{(\text{き裂の範囲 } y)^2 + (\text{き裂の範囲 } z)^2}}{2} \quad \text{----- (式 3.2.1)}$$

$$L(\text{き裂の道のり}) = \sqrt{y^2 + z^2} \quad \text{----- (式 3.2.2)}$$

き裂範囲の推定では図 3.2.1 に示すように供試体のトラフリブのウェブ位置に対応する a～d の 4 測線で超音波探傷試験を実施する。なお、初期状態での溶け込み深さを推定するために各供試体の a～d の各測線で横リブ位置から 20mm，100mm 離れた位置（図 3.2.1 中の 1，2，3）でデッキプレート側及び U リブ側の脚長を測定し、図 3.2.2 に示す方法で溶接状態を推定した。

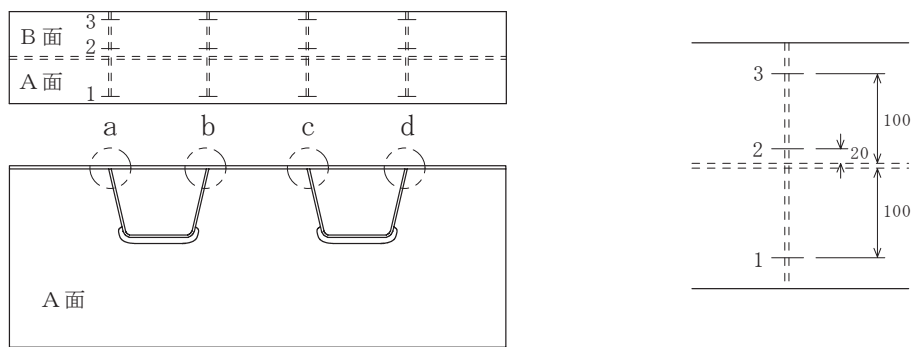


図 3.2.1 超音波探傷試験の対象位置

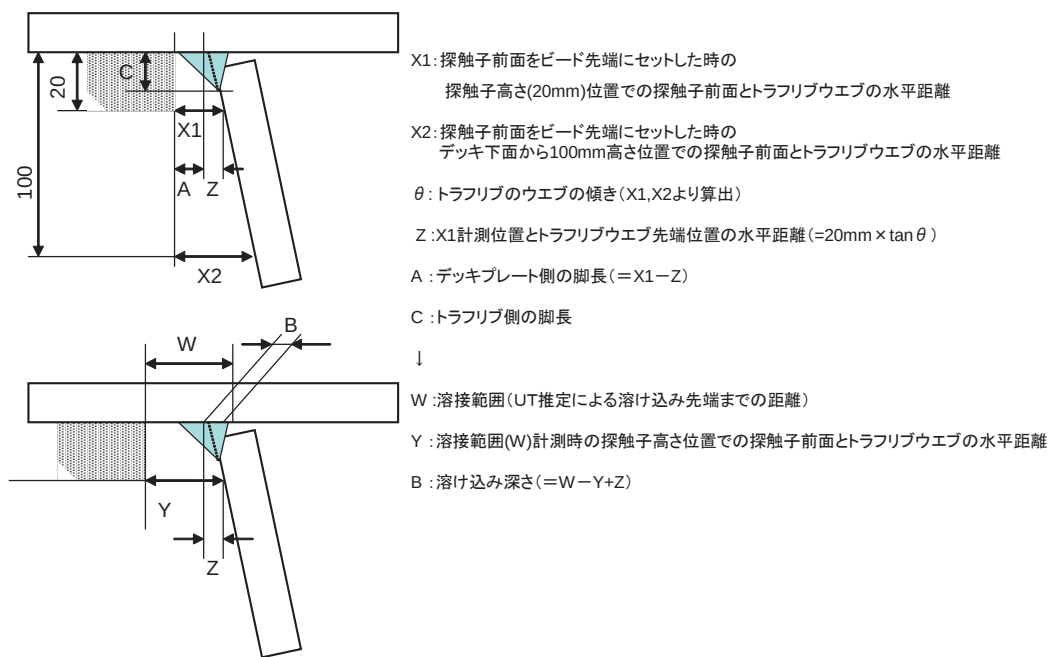


図 3.2.2 溶接状態の推定方法と記号の定義

3.2.2 初期状態の推定

疲労試験に先立って行った供試体の溶接部のスケールによる形状計測と超音波探傷試験の結果から推定した初期の溶接状態を表 3.2.1 及び表 3.2.2 に示す。

表 3.2.1 初期状態の計測によるデッキプレート側の脚長 (A : mm)

測 定 位 置	D12U6	D12U8	D14U6	D14U8	D16U6	D16U8	D19U6	D19U8
a-1	7.3	6.7	7.8	7.7	8.2	6.2	7.4	7.4
a-2	7.1	6.5	6.9	7	9	6.2	6.9	6.7
a-3	7.4	6.1	7.3	7.6	9.2	6.3	6.8	7.5
b-1	7.6	8	5.9	9	9.1	9.1	8.8	7.6
b-2	8	8.1	6	8.8	8.5	7.4	9	7.5
b-3	8.1	8.6	7	8.7	8.5	8.3	9.3	7.8
c-1	8	9	8.2	7.7	9	7.8	7.8	8.3
c-2	7.9	7.8	8.3	7.5	8.2	7.5	7.1	6.2
c-3	8	8.7	8.3	8.2	8.3	7.4	7.1	6.2
d-1	7.4	8.2	6	8.2	7.7	6.7	8.1	8.1
d-2	8.1	7.2	5.9	7.2	8.2	6.9	7.6	7.4
d-3	9.3	7.4	5.4	8.4	8	8.3	9	7.3

表 3.2.2 初期状態の計測によるトラフ側の脚長 (C : mm)

測 定 位 置	D12U6	D12U8	D14U6	D14U8	D16U6	D16U8	D19U6	D19U8
a-1	8.1	9.3	9.7	8.9	9	10.1	7.1	10.0
a-2	7.9	9.1	6.9	7.8	9.6	9.3	9.4	12.8
a-3	7.8	8.9	7.8	7.9	9.2	11.4	10.8	10.6
b-1	8.1	8.3	8	9.8	8.2	12.1	9.6	10.5
b-2	8.2	8.2	9.5	8.4	8.9	9.1	10.1	11.8
b-3	7.9	8.1	8	8	9.5	9.1	9.4	11.5
c-1	8.3	10.4	8.2	10.6	8.9	9.5	11.5	11.8
c-2	7.8	7.6	7.6	8.2	9.4	10.3	9.7	10.4
c-3	7.2	9.8	7.8	7.4	8.9	10	10.8	12.3
d-1	8.5	9	7.9	8.5	10	10.2	9.9	10.9
d-2	8.8	8.5	9.5	10.2	9	10.4	9.6	9.8
d-3	8.8	8.5	8.3	9.6	9.8	12.3	10.3	9.2

各初期状態の概要を図 3.2.3 に示す。

初期状態

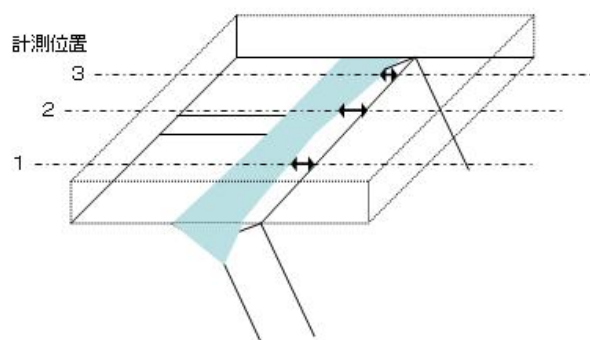


図 3.2.3 初期状態の概要

3.2.3 UTによるき裂の発生と進展の推定

繰り返し数 50 万回, 100 万回, 200 万回の各時点での超音波探傷試験結果から推定されたき裂の位置, 範囲等について整理する。UT 結果からのき裂範囲等の推定結果を以下に整理する。

①き裂範囲 x

き裂範囲 x の推定結果を表 3.2.3～3.2.5, 図 3.2.4～3.2.6 に示す。各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎, (b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したもの及び a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.3 き裂範囲 x の UT 推定結果 (50 万回載荷時点)

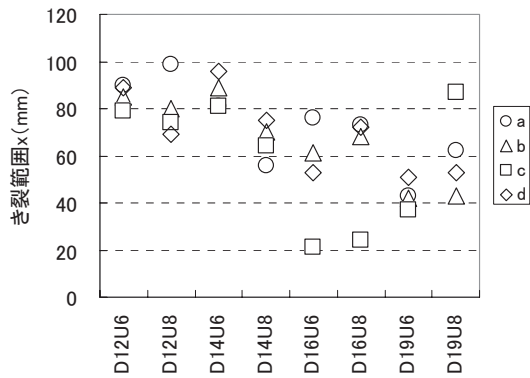
検査箇所	き裂範囲x(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	90.0	85.0	79.0	89.0	89.5	82.0	85.8
D12U8	99.0	80.0	74.0	69.0	84.0	77.0	80.5
D14U6	81.0	89.0	81.0	96.0	88.5	85.0	86.8
D14U8	56.0	70.0	64.0	75.0	65.5	67.0	66.3
D16U6	76.0	61.0	21.0	53.0	64.5	41.0	52.8
D16U8	73.0	68.0	24.0	72.0	72.5	46.0	59.3
D19U6	43.0	42.0	37.0	51.0	47.0	39.5	43.3
D19U8	62.0	43.0	87.0	53.0	57.5	65.0	61.3

表 3.2.4 き裂範囲 x の UT 推定結果 (100 万回載荷時点)

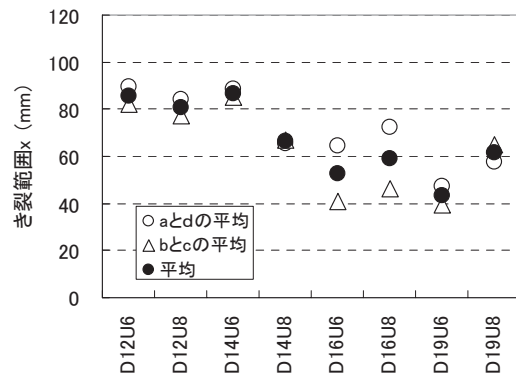
検査箇所	き裂範囲x(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	90.0	85.0	87.0	89.0	89.5	86.0	87.8
D12U8	110.0	90.0	96.0	85.0	97.5	93.0	95.3
D14U6	85.0	92.0	85.0	119.0	102.0	88.5	95.3
D14U8	109.0	98.0	97.0	87.0	98.0	97.5	97.8
D16U6	88.0	81.0	70.0	78.0	83.0	75.5	79.3
D16U8	84.0	87.0	76.0	90.0	87.0	81.5	84.3
D19U6	74.0	59.0	52.0	71.0	72.5	55.5	64.0
D19U8	77.0	45.0	87.0	68.0	72.5	66.0	69.3

表 3.2.5 き裂範囲 x の UT 推定結果 (200 万回載荷時点)

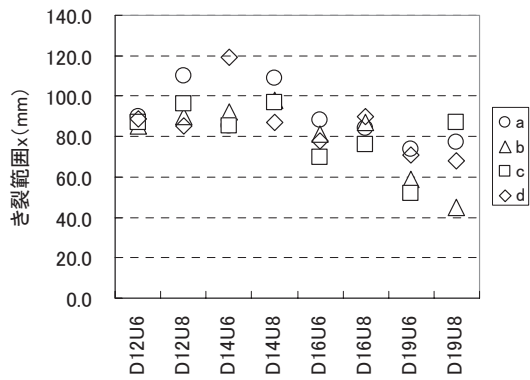
検査箇所	き裂範囲x(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	97.0	92.0	92.0	96.0	96.5	92.0	94.3
D12U8	110.0	101.0	123.0	96.0	103.0	112.0	107.5
D14U6	94.0	105.0	99.0	120.0	107.0	102.0	104.5
D14U8	123.0	107.0	97.0	100.0	111.5	102.0	106.8
D16U6	99.0	83.0	76.0	84.0	91.5	79.5	85.5
D16U8	99.0	97.0	96.0	109.0	104.0	96.5	100.3
D19U6	99.0	68.0	73.0	88.0	93.5	70.5	82.0
D19U8	80.0	59.0	103.0	82.0	81.0	81.0	81.0



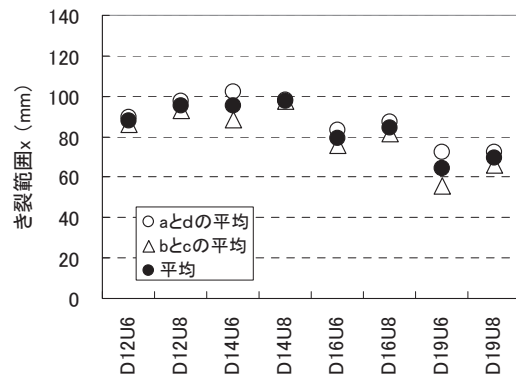
(a)



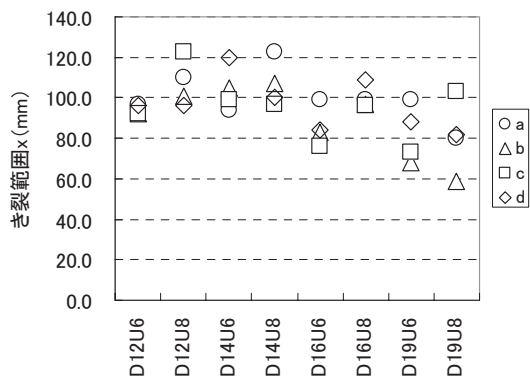
(b)

図 3.2.4 き裂範囲 x の UT 推定結果 (50 万回载荷時点)

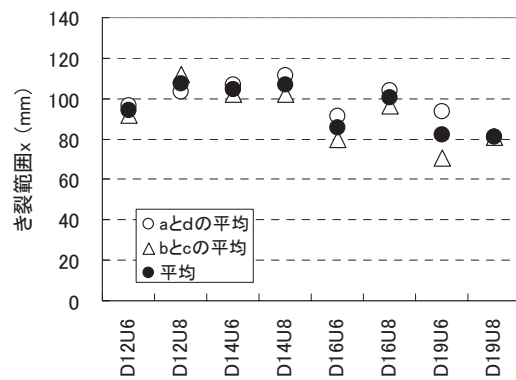
(a)



(b)

図 3.2.5 き裂範囲 x の UT 推定結果 (100 万回载荷時点)

(a)



(b)

図 3.2.6 き裂範囲 x の UT 推定結果 (200 万回载荷時点)

また、図 3.2.4～図 3.2.6 に示したき裂範囲 x の推定結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.7 に示す。

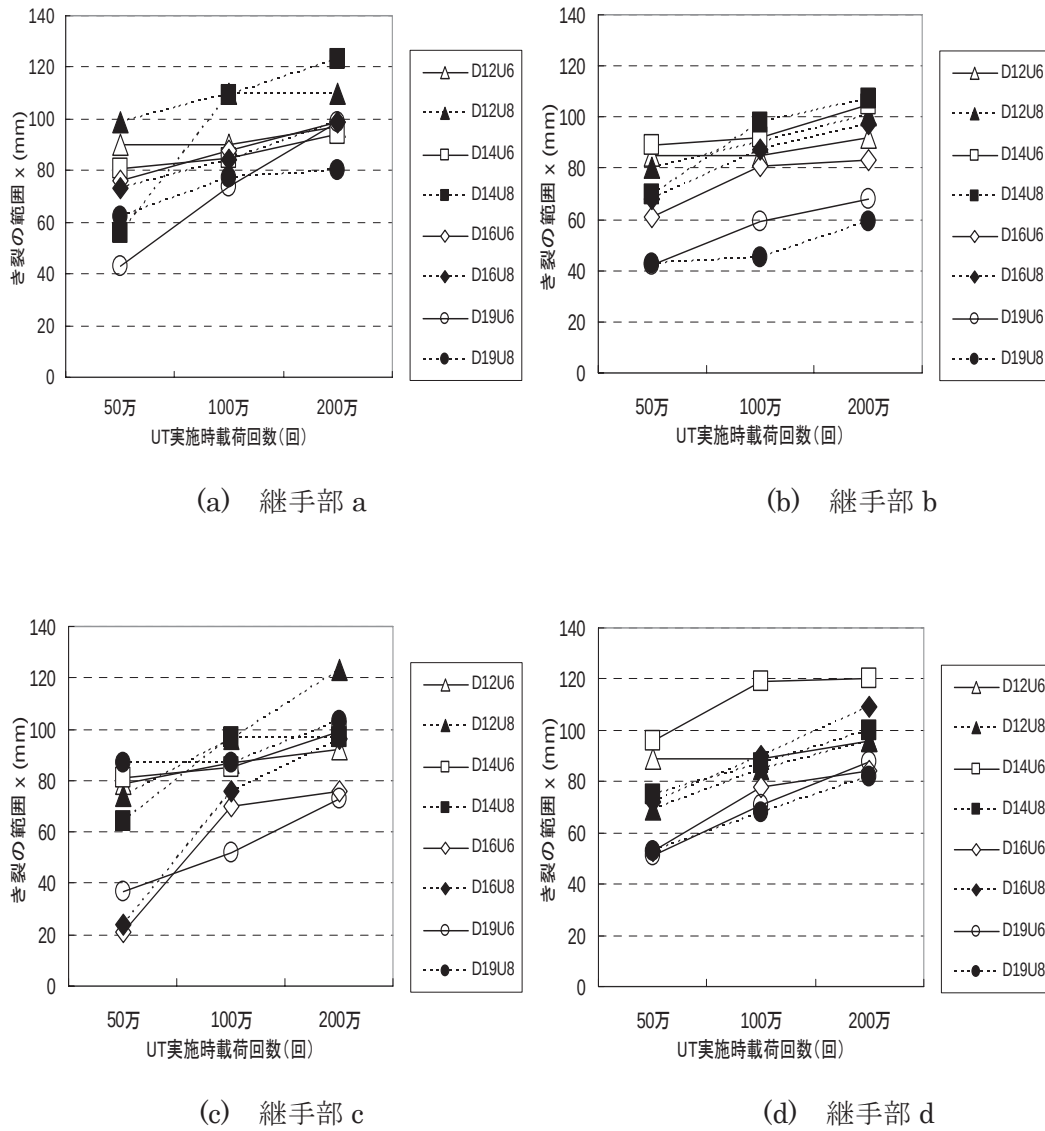
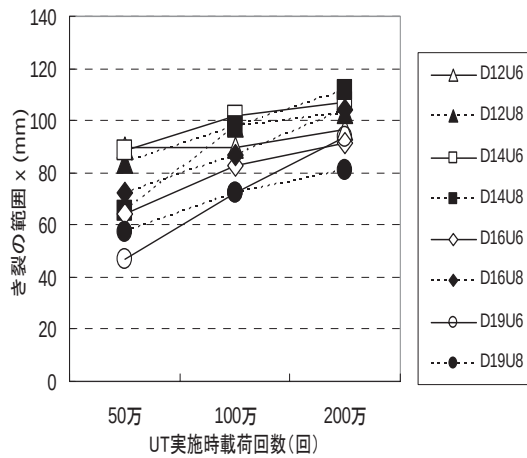
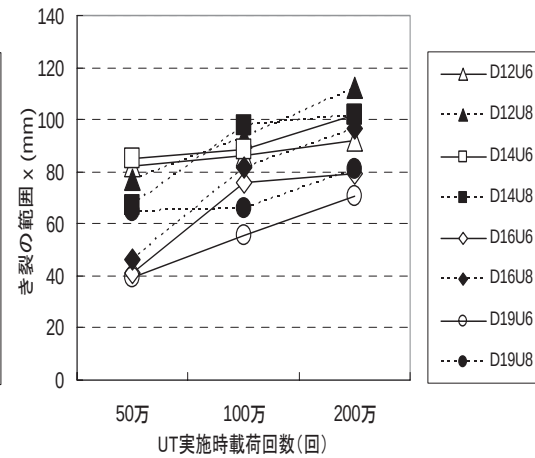


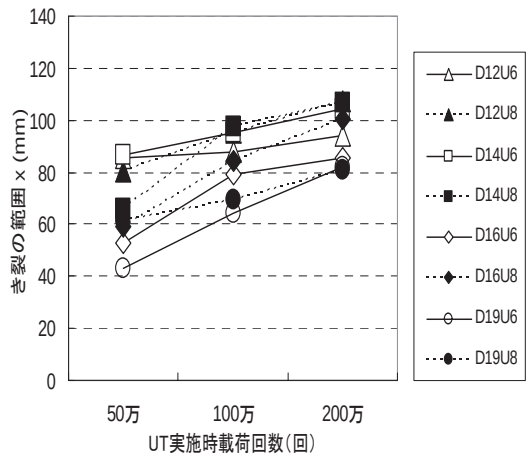
図 3.2.7(1) UT 推定による载荷回数とき裂範囲 x の値の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.7(2) UT 推定による荷重回数とき裂範囲 x の値の変化

以上、各ケース溶接線毎にややばらつきがみられるものの、荷重回数に従ってき裂範囲 x は確実に大きくなっている。

デッキプレート厚が薄いケースほど、荷重回数 100 万回前後で、き裂範囲 x の拡大速度がやや鈍化している傾向がみられ、荷重回数 50 万回までに急速にき裂が進展していた可能性があり、逆にデッキプレート板厚の大きい D19 や D16 では、試験を終了した 200 万回荷重後も荷重を継続することで、引き続きき裂範囲 x が拡大した可能性があったものと考えられる。

②き裂範囲 y

き裂範囲 y の推定結果を表 3.2.6～3.2.8, 図 3.2.8～3.2.10 に示す。各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎, (b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したもの及び a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.6 き裂範囲 y の UT 推定結果 (50 万回载荷時点)

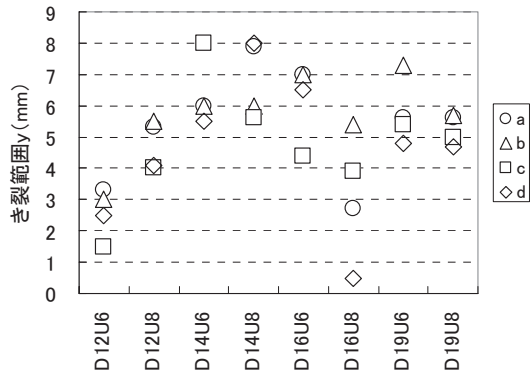
検査箇所	き裂範囲y(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	3.3	3.0	1.5	2.5	2.9	2.3	2.6
D12U8	5.3	5.5	4.0	4.1	4.7	4.8	4.7
D14U6	6.0	6.0	8.0	5.5	5.8	7.0	6.4
D14U8	7.9	6.0	5.6	8.0	8.0	5.8	6.9
D16U6	7.0	7.0	4.4	6.5	6.8	5.7	6.2
D16U8	2.7	5.4	3.9	0.5	1.6	4.7	3.1
D19U6	5.6	7.3	5.4	4.8	5.2	6.4	5.8
D19U8	5.6	5.7	5.0	4.7	5.2	5.4	5.3

表 3.2.7 き裂範囲 y の UT 推定結果 (100 万回载荷時点)

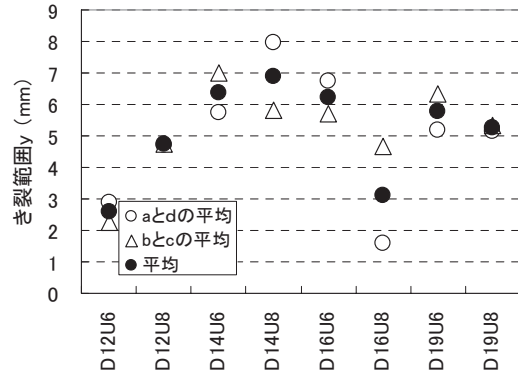
検査箇所	き裂範囲y(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	7.4	9.5	8.0	7.0	7.2	8.8	8.0
D12U8	7.0	7.0	6.0	5.0	6.0	6.5	6.3
D14U6	8.0	7.9	8.8	8.7	8.4	8.4	8.4
D14U8	8.9	9.1	9.2	8.6	8.8	9.2	9.0
D16U6	7.2	7.1	12.2	11.2	9.2	9.7	9.4
D16U8	10.4	11.0	9.5	11.3	10.9	10.3	10.6
D19U6	6.8	7.3	7.1	6.6	6.7	7.2	7.0
D19U8	8.1	7.8	7.1	7.3	7.7	7.5	7.6

表 3.2.8 き裂範囲 y の UT 推定結果 (200 万回载荷時点)

検査箇所	き裂範囲y(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	7.4	9.5	8.0	7.5	7.5	8.8	8.1
D12U8	8.4	8.6	7.8	7.4	7.9	8.2	8.1
D14U6	9.5	10.0	12.6	9.9	9.7	11.3	10.5
D14U8	11.7	11.8	11.0	11.9	11.8	11.4	11.6
D16U6	13.7	17.0	16.3	16.5	15.1	16.7	15.9
D16U8	12.1	12.7	12.5	12.0	12.1	12.6	12.3
D19U6	10.3	9.7	9.0	10.2	10.3	9.4	9.8
D19U8	9.2	8.1	9.3	9.1	9.2	8.7	8.9

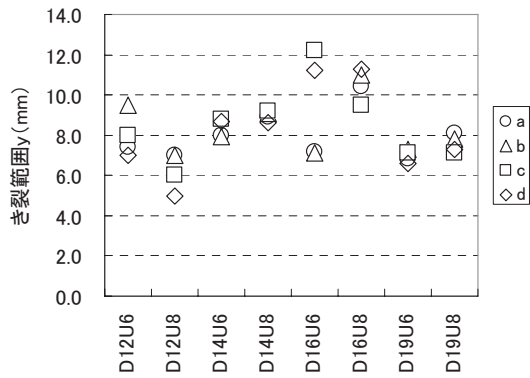


(a)

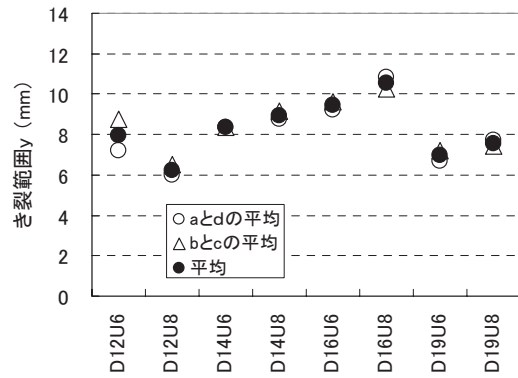


(b)

図 3.2.8 き裂範囲 y の UT 推定結果 (50 万回载荷時点)

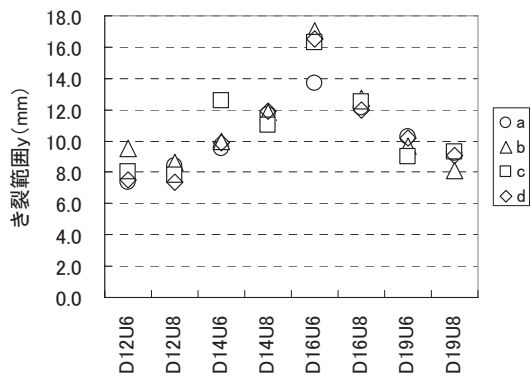


(a)

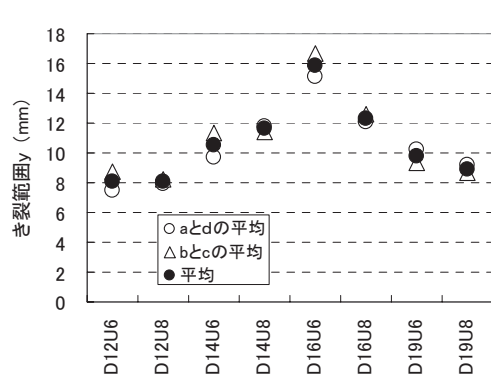


(b)

図 3.2.9 き裂範囲 y の UT 推定結果 (100 万回载荷時点)



(a)



(b)

図 3.2.10 き裂範囲 y の UT 推定結果 (200 万回载荷時点)

また、図 3.2.8～図 3.2.10 に示したき裂範囲 y の推定結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.11 に示す。

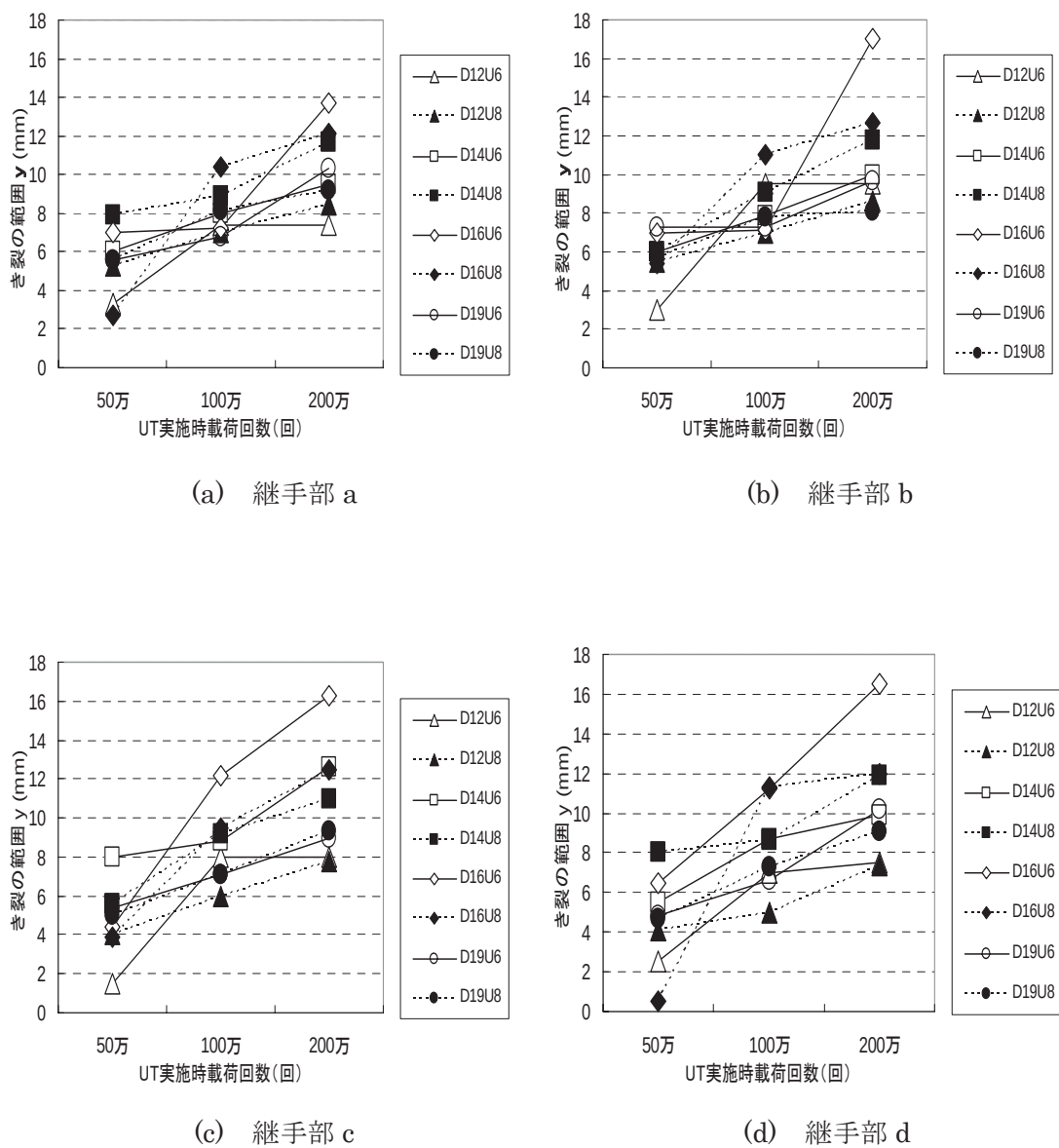
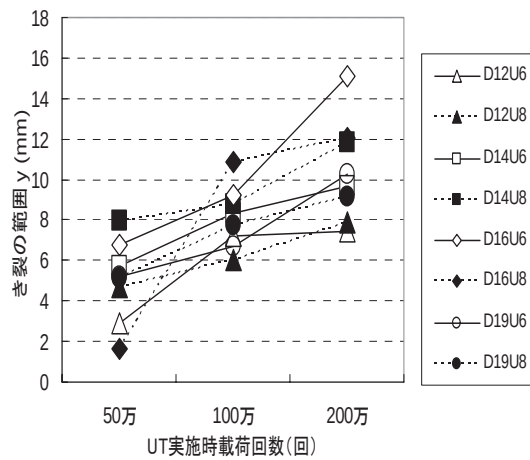
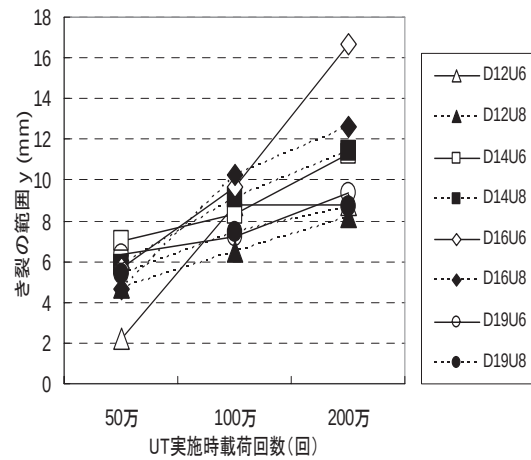


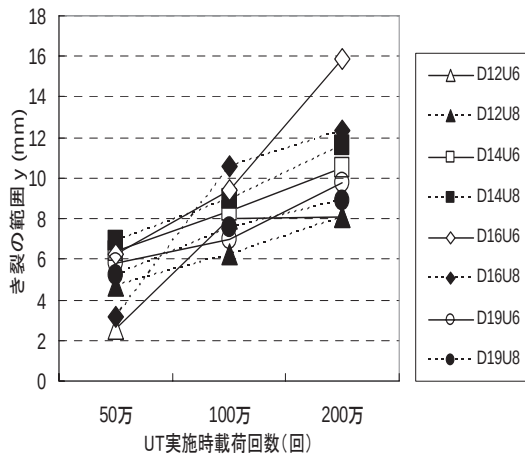
図 3.2.11(1) UT 推定による载荷回数とき裂範囲 y の値の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.11(2) UT 推定による载荷回数とき裂範囲 y の値の変化

各载荷段階においてデッキプレート板厚やトラフリブ板厚に対する傾向は明確でない。载荷回数 200 万回時点で D16U6 のケースが突出して大きなき裂範囲 y を示したことは他のケースと異なる特異な現象であった可能性も否定できないが、200 万回载荷時点で D16U6 の a~d の全ての溶接線で同様の値となっており応力状態や変形特性などとの関係により再現性のある現象である可能性もある。200 万回载荷時点でのき裂範囲 y の大きさは、D16→D14→D19→D12 の順に大きくなっており板厚の組み合わせとの相関関係については明確にできていない。

载荷回数毎のき裂範囲 y の進展状況からは、デッキプレート板厚が小さいものほど、载荷回数 100 万回前後での進展速度の鈍化が顕著なものがやや多くみられる。

③き裂範囲 z

き裂範囲 z の推定結果を表 3.2.9～3.2.11, 図 3.2.12～3.2.14 に示す。

なお, UT ではき裂までの距離を測定して推定しており, 「き裂範囲 z」はデッキプレート板厚からき裂までの推定距離を引いて算出したものである。

各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎, (b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したものおよび a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.9 き裂範囲 z の UT 推定結果 (50 万回載荷時点)

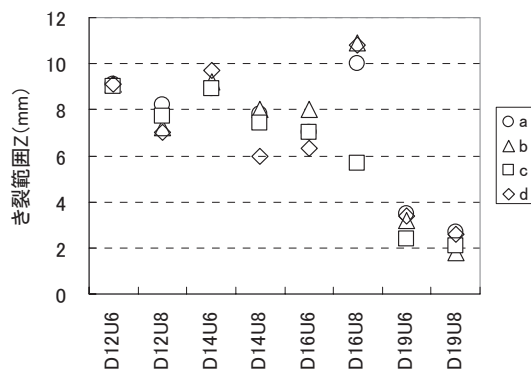
検査箇所	き裂範囲z(mm)							き裂までの距離(UT実測)(mm)							
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	min
D12U6	9.1	9.1	9.0	9.1	9.1	9.1	9.1	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9	3.0	2.9	2.9
D12U8	8.2	7.2	7.7	7.0	7.6	7.5	7.5	3.8	4.8	4.3	5.0	4.4	4.6	4.5	3.8
D14U6	8.9	9.2	8.9	9.7	9.3	9.1	9.2	5.1	4.8	5.1	4.3	4.7	5.0	4.8	4.3
D14U8	7.8	8.0	7.4	6.0	6.9	7.7	7.3	6.2	6.0	6.6	8.0	7.1	6.3	6.7	6.0
D16U6	7.0	8.0	7.0	6.3	6.7	7.5	7.1	9.0	8.0	9.0	9.7	9.4	8.5	8.9	8.0
D16U8	10.0	10.9	5.7	10.8	10.4	8.3	9.4	6.0	5.1	10.3	5.2	5.6	7.7	6.7	5.1
D19U6	3.5	3.2	2.4	3.4	3.5	2.8	3.1	15.5	15.8	16.6	15.6	15.6	16.2	15.9	15.5
D19U8	2.7	1.8	2.1	2.6	2.7	2.0	2.3	16.3	17.2	16.9	16.4	16.4	17.1	16.7	16.3

表 3.2.10 き裂範囲 z の UT 推定結果 (100 万回載荷時点)

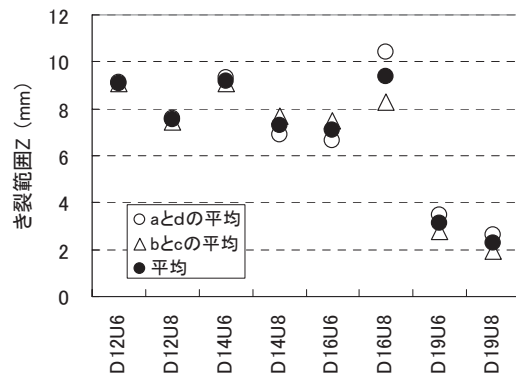
検査箇所	き裂範囲z(mm)							き裂までの距離(UT実測)(mm)							
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	min
D12U6	9.6	9.6	9.5	9.7	9.7	9.6	9.6	2.4	2.4	2.5	2.3	2.4	2.5	2.4	2.3
D12U8	9.6	9.6	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	2.4	2.4	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.3
D14U6	11.1	11.1	11.0	11.2	11.2	11.1	11.1	2.9	2.9	3	2.8	2.9	3.0	2.9	2.8
D14U8	10.4	10.3	10.3	10.5	10.5	10.3	10.4	3.6	3.7	3.7	3.5	3.6	3.7	3.6	3.5
D16U6	12.4	12.5	12.5	12.6	12.5	12.5	12.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.4
D16U8	11.5	11.6	9.6	11.8	11.7	10.6	11.1	4.5	4.4	6.4	4.2	4.4	5.4	4.9	4.2
D19U6	6.7	4.4	4.7	6.4	6.6	4.6	5.6	12.3	14.6	14.3	12.6	12.5	14.5	13.5	12.3
D19U8	4.4	3.7	4.0	6.0	5.2	3.9	4.5	14.6	15.3	15	13	13.8	15.2	14.5	13.0

表 3.2.11 き裂範囲 z の UT 推定結果 (200 万回載荷時点)

検査箇所	き裂範囲z(mm)							き裂までの距離(UT実測)(mm)							
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	平均	min
D12U6	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
D12U8	10.6	10.5	10.1	10.2	10.4	10.3	10.4	1.4	1.5	1.9	1.8	1.6	1.7	1.7	1.4
D14U6	11.6	11.4	11.5	11.4	11.5	11.5	11.5	2.4	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.4
D14U8	11.2	11.2	11.1	11.1	11.2	11.2	11.2	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8
D16U6	13.5	13.5	13.4	13.4	13.5	13.5	13.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5
D16U8	12.4	12.8	11.8	12.7	12.6	12.3	12.4	3.6	3.2	4.2	3.3	3.5	3.7	3.6	3.2
D19U6	11.5	8.0	10.0	8.8	10.2	9.0	9.6	7.5	11	9	10.2	8.9	10.0	9.4	7.5
D19U8	8.2	5.5	8.5	9.4	8.8	7.0	7.9	10.8	13.5	10.5	9.6	10.2	12.0	11.1	9.6

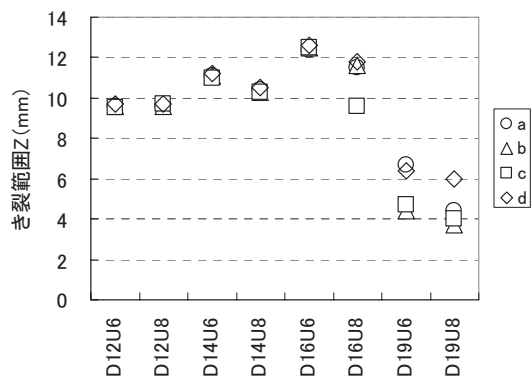


(a)

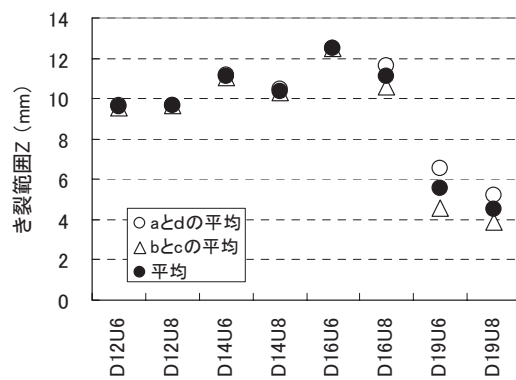


(b)

図 3.2.12 き裂範囲 z の UT 推定結果 (50 万回载荷時点)

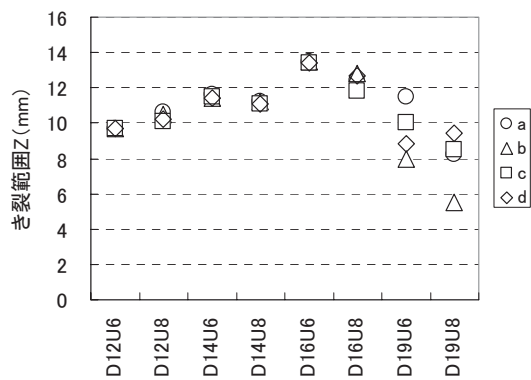


(a)

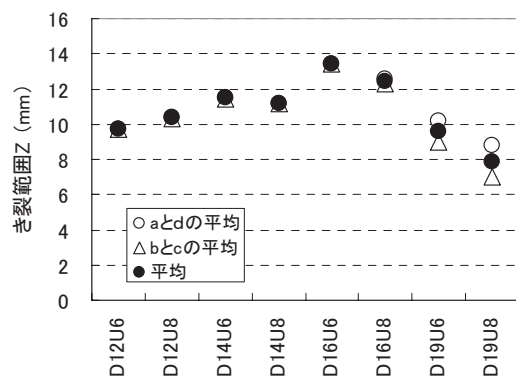


(b)

図 3.2.13 き裂範囲 z の UT 推定結果 (100 万回载荷時点)



(a)



(b)

図 3.2.14 き裂範囲 z の UT 推定結果 (200 万回载荷時点)

また、図 3.2.12～図 3.2.14 に示したき裂範囲 z の推定結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.15 に示す。

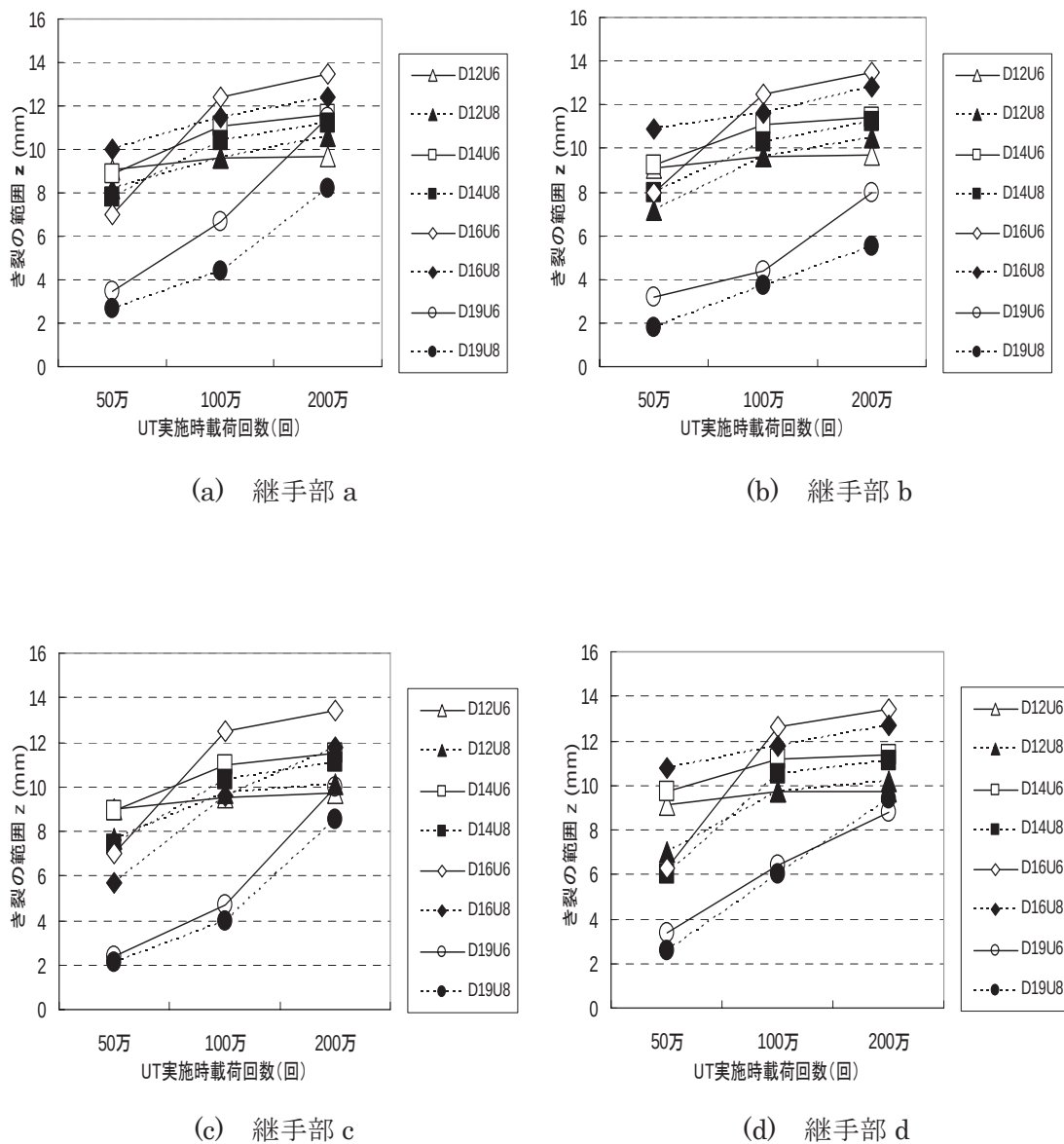
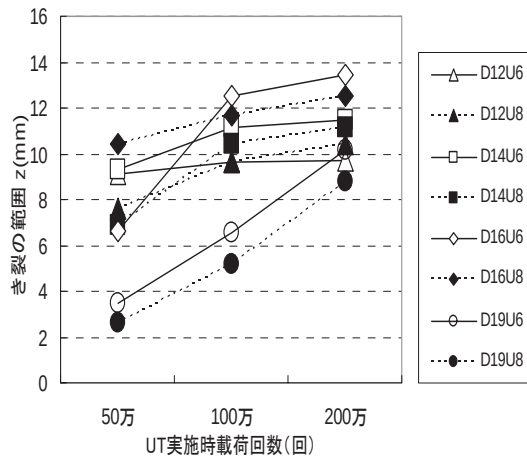
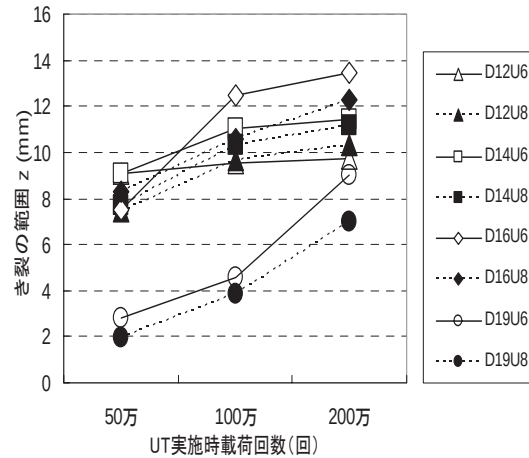


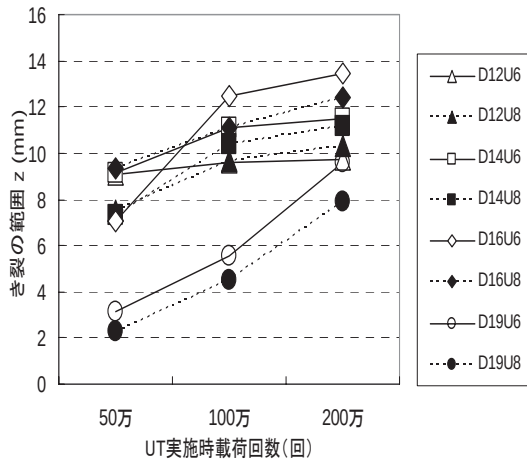
図 3.2.15(1) UT 推定による载荷回数とき裂範囲 z の値の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.15(2) UT 推定による载荷回数とき裂範囲 z の値の変化

D19 のケースを除き载荷回数が増えるにつれて溶接線毎の差は小さくなり载荷回数 200 万回時点ではほぼ一致する。

デッキプレート板厚 16mm 以下では、载荷回数 50 万回時点で 5mm 以上デッキ貫通方向にき裂が進展しており、100 万回以降はそれ以前よりき裂進展速度が鈍化する傾向がみられる。一方、D19 では 50 万回時点ではき裂は概ね 3mm 以下と推定され、100 万回までは他ケースに比べてき裂範囲に大きな差がみられる。また 100 万回以降もき裂範囲 z は顕著に拡大しており、200 万回以降も载荷を継続した場合にはさらに拡大がすすんだものと推定される。

载荷回数 200 万回時点で D12 を除き同じデッキプレート厚ではトラフリブ板厚が大きい方がき裂範囲は若干小さくなっており、き裂進展速度の抑制にトラフリブ板厚増が寄与する可能性が示唆される。ただし、デッキプレート板厚との関係は 200 万回時点では D16 が最も値が大きいなどき裂範囲 z の絶対値との傾向は明確でない。

④板厚欠損率

板厚欠損率の推定結果を表 3.2.12～3.2.14, 図 3.2.16～3.2.18 に示す。

板厚欠損率は, UT 計測結果とデッキプレート板厚から求めた「き裂範囲 z 」の値とデッキプレート板厚の比であり, 当該位置においてき裂によるデッキプレート板厚の欠損比率を推定したものである。

各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎, (b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したものおよび a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.12 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (50 万回載荷時点)

検査箇所	板厚欠損率(%)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	75.8	75.8	75.0	75.8	75.8	75.4	75.6
D12U8	68.3	60.0	64.2	58.3	63.3	62.1	62.7
D14U6	63.6	65.7	63.6	69.3	66.4	64.6	65.5
D14U8	55.7	57.1	52.9	42.9	49.3	55.0	52.1
D16U6	43.8	50.0	43.8	39.4	41.6	46.9	44.2
D16U8	62.5	68.1	35.6	67.5	65.0	51.9	58.4
D19U6	18.4	16.8	12.6	17.9	18.2	14.7	16.4
D19U8	14.2	9.5	11.1	13.7	13.9	10.3	12.1

表 3.2.13 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (100 万回載荷時点)

検査箇所	板厚欠損率(%)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	80.0	80.0	79.2	80.8	80.4	79.6	80.0
D12U8	80.0	80.0	80.8	80.8	80.4	80.4	80.4
D14U6	79.3	79.3	78.6	80.0	79.6	78.9	79.3
D14U8	74.3	73.6	73.6	75.0	74.6	73.6	74.1
D16U6	77.5	78.1	78.1	78.8	78.1	78.1	78.1
D16U8	71.9	72.5	60.0	73.8	72.8	66.3	69.5
D19U6	35.3	23.2	24.7	33.7	34.5	23.9	29.2
D19U8	23.2	19.5	21.1	31.6	27.4	20.3	23.8

表 3.2.14 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (200 万回載荷時点)

検査箇所	板厚欠損率(%)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8
D12U8	88.3	87.5	84.2	85.0	86.7	85.8	86.3
D14U6	82.9	81.4	82.1	81.4	82.1	81.8	82.0
D14U8	80.0	80.0	79.3	79.3	79.6	79.6	79.6
D16U6	84.4	84.4	83.8	83.8	84.1	84.1	84.1
D16U8	77.5	80.0	73.8	79.4	78.4	76.9	77.7
D19U6	60.5	42.1	52.6	46.3	53.4	47.4	50.4
D19U8	43.2	28.9	44.7	49.5	46.3	36.8	41.6

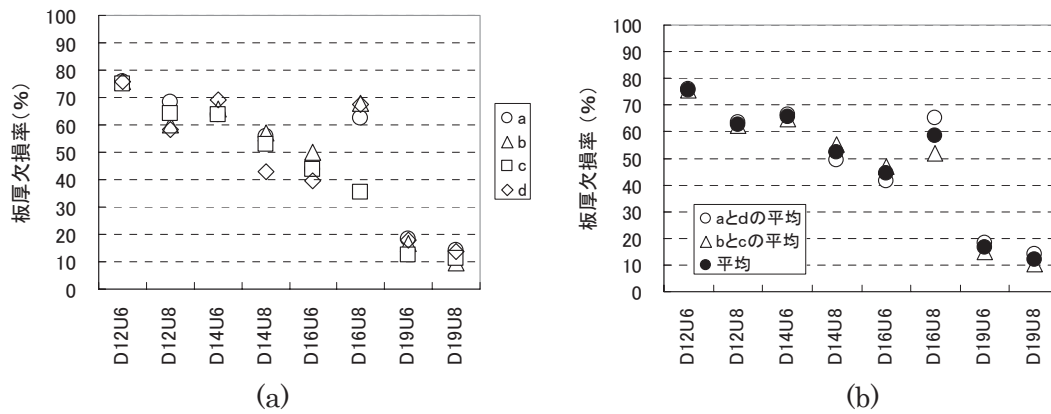


図 3.2.16 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (50 万回载荷時点)

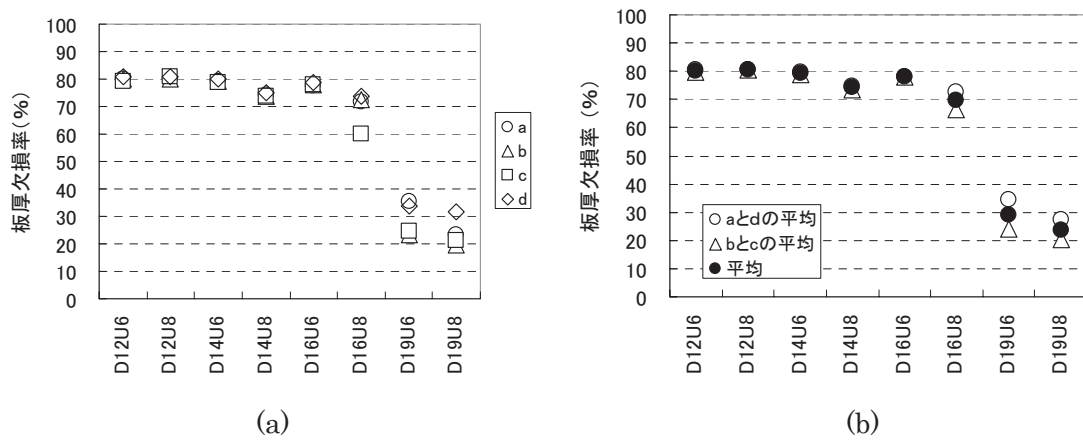


図 3.2.17 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (100 万回载荷時点)

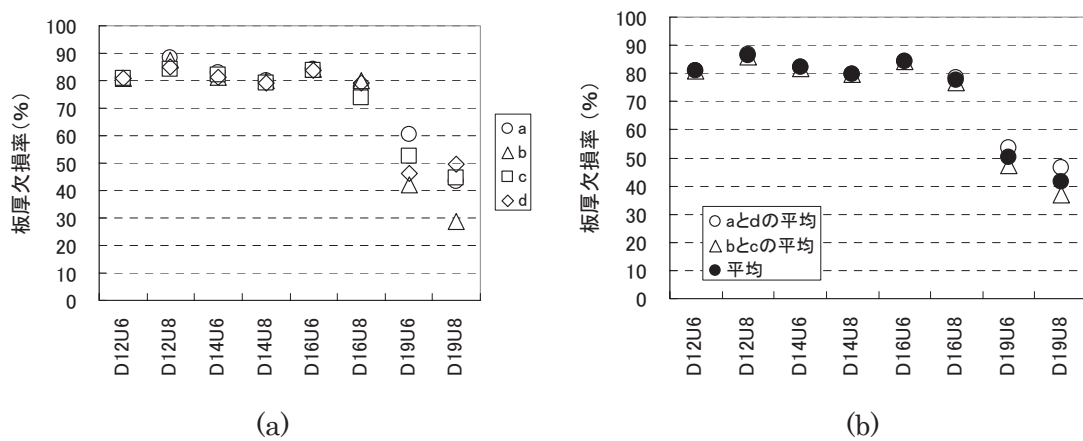


図 3.2.18 UT 推定結果から算出した板厚欠損率 (200 万回载荷時点)

また、図 3.2.16～図 3.2.18 に示した板厚の欠損率の推計結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.19 に示す。

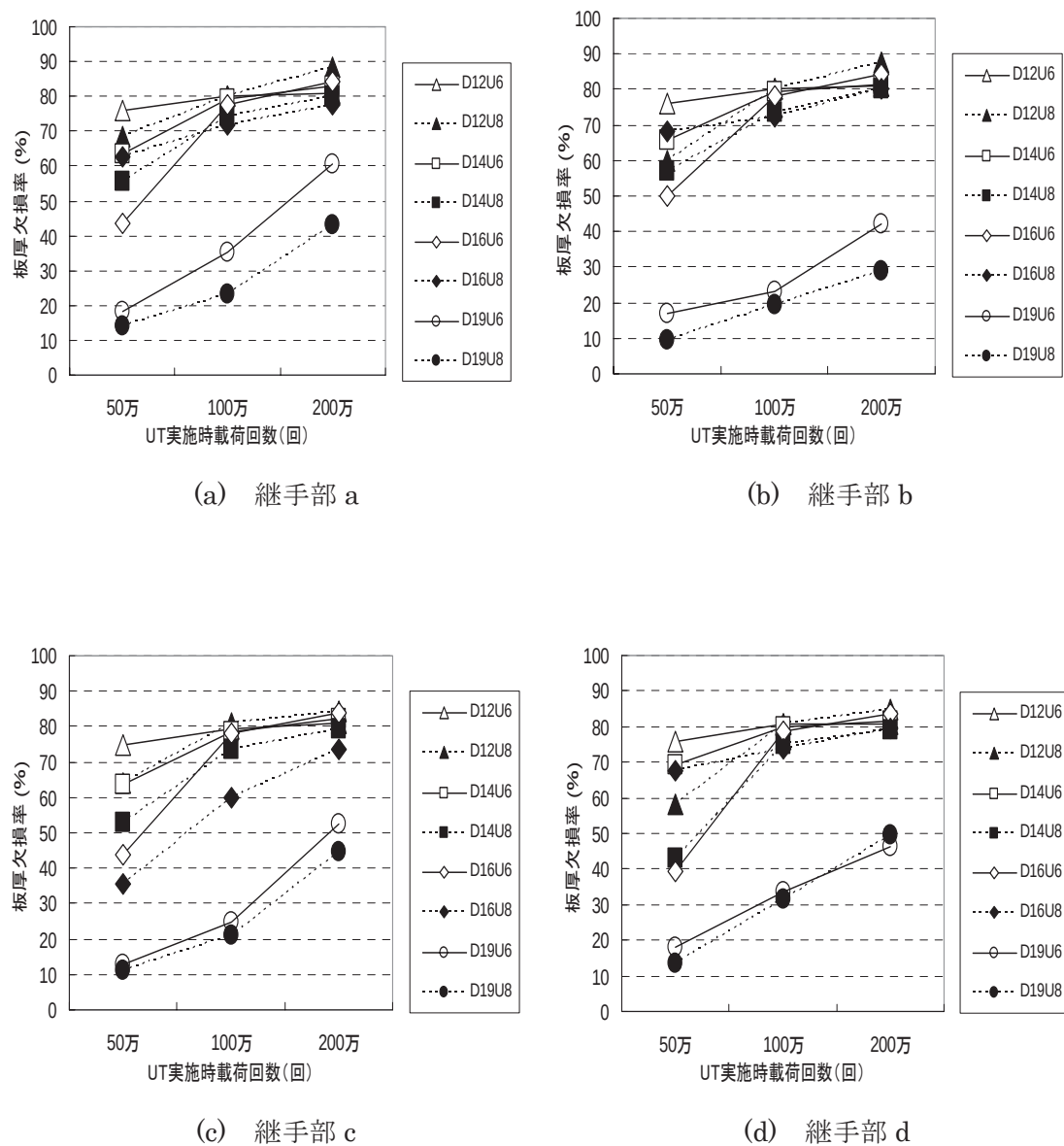
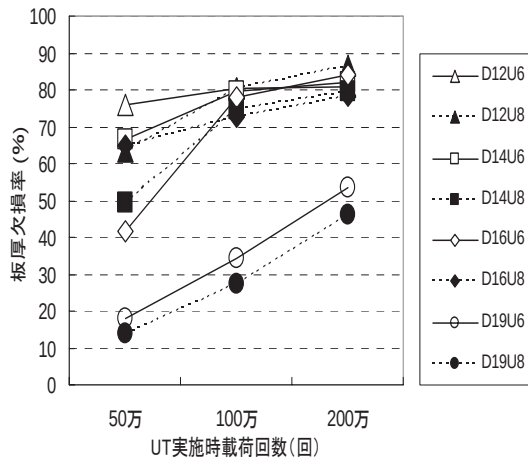
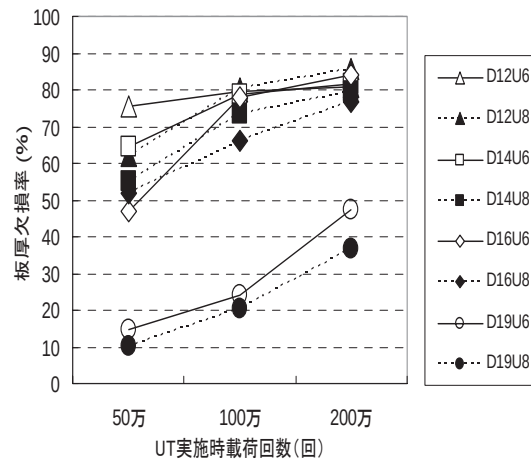


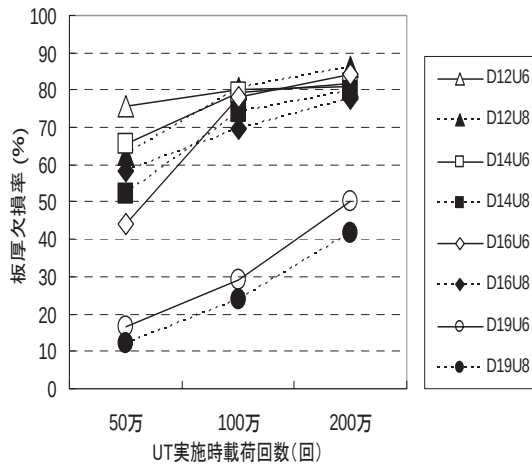
図 3.2.19(1) UT 推定による载荷回数と板厚欠損率の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.19(2) UT 推定による载荷回数と板厚欠損率の変化

き裂範囲 z をデッキプレート板厚で無次元化した断面欠損率は、载荷回数に依らず総じてデッキプレート板厚が大きいほど小さくなる傾向がみられ、デッキプレートの板厚増によるデッキプレート貫通き裂の進展抑制効果が認められる。特に D19 では他のケースに比べて板厚欠損率は著しく小さい。

D19 以外のケースでは载荷回数 100 万回時点ですでに板厚の欠損率が 70% 程度以上に達しており、デッキプレート貫通に至る直前の段階といえる。また载荷回数 100 万回以降はそれ以前と比較して板厚欠損率の増加は小さく、デッキプレート貫通に至る前段階で载荷回数に対するき裂進展速度が鈍化する傾向が認められる。

⑤き裂の道のり L

き裂の道のり L の推定結果を表 3.2.15～3.2.17, 図 3.2.20～3.2.22 に示す。

各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎, (b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したものおよび a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.15 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (50 万回載荷時点)

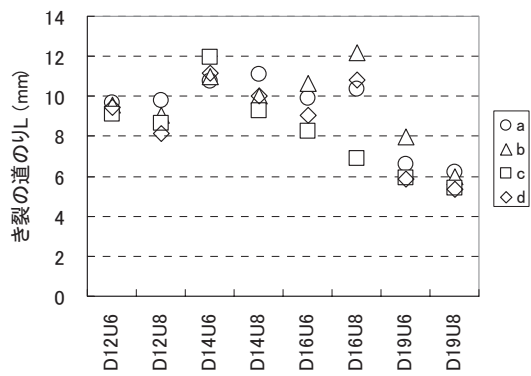
検査箇所	き裂の道のりL(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	9.7	9.6	9.1	9.4	9.6	9.4	9.5
D12U8	9.8	9.1	8.7	8.1	8.9	8.9	8.9
D14U6	10.7	11.0	12.0	11.2	10.9	11.5	11.2
D14U8	11.1	10.0	9.3	10.0	10.6	9.6	10.1
D16U6	9.9	10.6	8.3	9.1	9.5	9.4	9.5
D16U8	10.4	12.2	6.9	10.8	10.6	9.5	10.1
D19U6	6.6	8.0	5.9	5.9	6.2	6.9	6.6
D19U8	6.2	6.0	5.4	5.4	5.8	5.7	5.7

表 3.2.16 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (100 万回載荷時点)

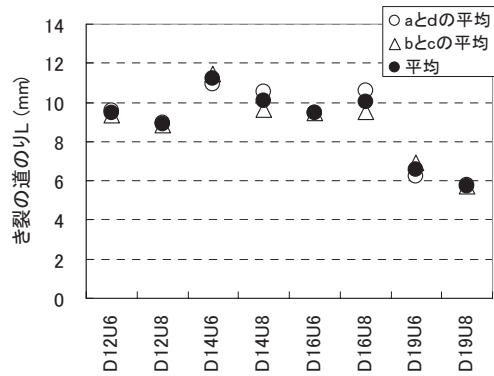
検査箇所	き裂の道のりL(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	12.1	13.5	12.4	12.0	12.0	13.0	12.5
D12U8	11.9	11.9	11.4	10.9	11.4	11.6	11.5
D14U6	13.7	13.6	14.1	14.2	13.9	13.9	13.9
D14U8	13.7	13.7	13.8	13.6	13.6	13.8	13.7
D16U6	14.3	14.4	17.5	16.9	15.6	15.9	15.8
D16U8	15.5	16.0	13.5	16.3	15.9	14.7	15.3
D19U6	9.5	8.5	8.5	9.2	9.4	8.5	8.9
D19U8	9.2	8.6	8.1	9.4	9.3	8.4	8.9

表 3.2.17 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (200 万回載荷時点)

検査箇所	き裂の道のりL(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	12.2	13.6	12.6	12.3	12.2	13.1	12.7
D12U8	13.5	13.6	12.8	12.6	13.1	13.2	13.1
D14U6	15.0	15.2	17.1	15.1	15.0	16.1	15.6
D14U8	16.2	16.3	15.6	16.3	16.2	15.9	16.1
D16U6	19.2	21.7	21.1	21.3	20.2	21.4	20.8
D16U8	17.3	18.0	17.2	17.5	17.4	17.6	17.5
D19U6	15.4	12.6	13.5	13.5	14.5	13.0	13.7
D19U8	12.3	9.8	12.6	13.1	12.7	11.2	11.9

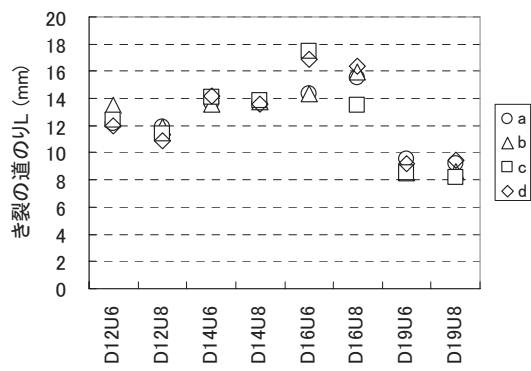


(a)

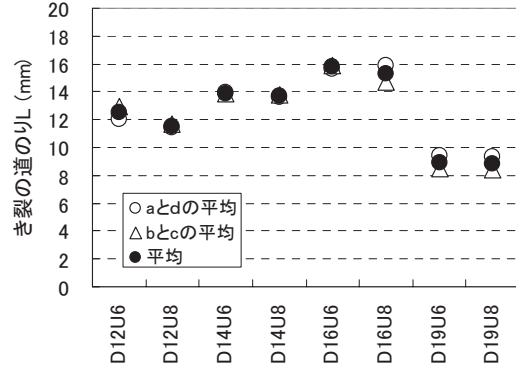


(b)

図 3.2.20 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (50 万回载荷時点)

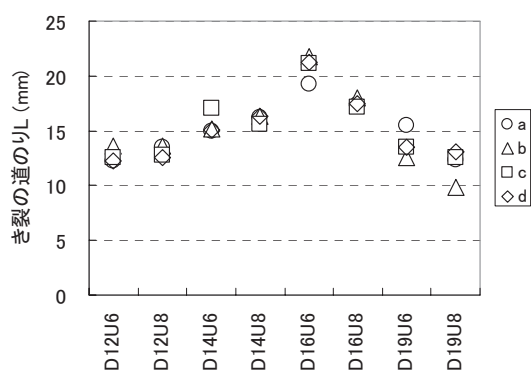


(a)

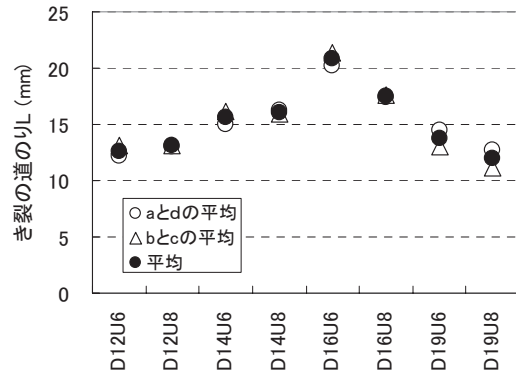


(b)

図 3.2.21 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (100 万回载荷時点)



(a)



(b)

図 3.2.22 UT 推定結果から算出したき裂の道のり L (200 万回载荷時点)

また、図 3.2.20～図 3.2.22 に示したき裂の道のり L の推計結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.23 に示す。

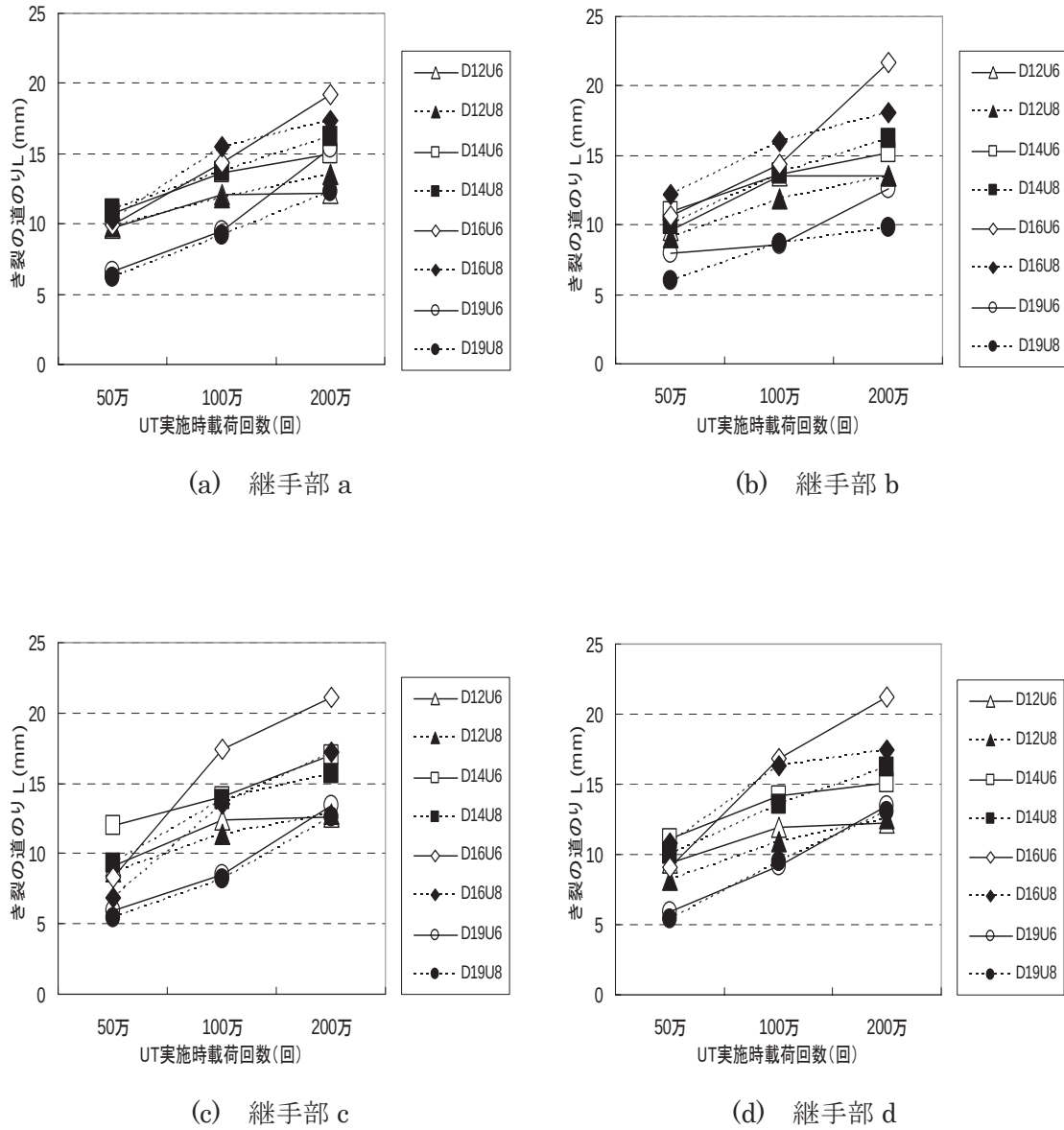
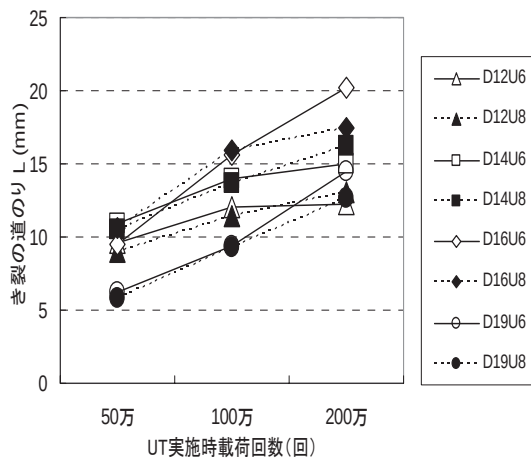
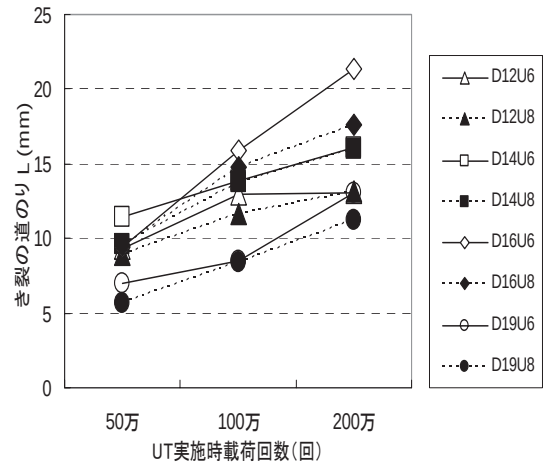


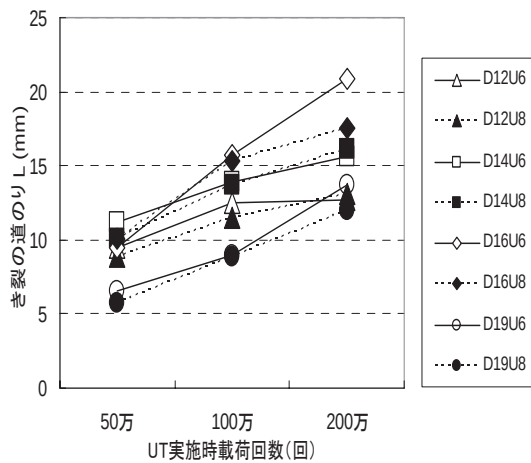
図 3.2.23(1) UT 推定による载荷回数とき裂の道のり L の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.23(2) UT 推定による载荷回数とき裂の道のり L の変化

き裂の道のり L は、基本的に溶接ルート付近からデッキプレート上方に向かって斜めに進展するき裂の進展長さを代表させるために定義した値である。そのためき裂範囲 y, き裂範囲 z と進展の傾向やデッキプレート板厚, トラフリブ板厚との関係は概ね同様な傾向となっている。

⑥き裂の面積 A

き裂の面積 A の推定結果を表 3.2.18～3.2.20、図 3.2.24～3.2.26 に示す。

各図の(a)は 4 本の対象溶接継手毎、(b)は応力条件が近似すると考えられる a, d と b, c の結果をそれぞれ平均したものおよび a～d の全結果を平均したものを示す。

表 3.2.18 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (50 万回載荷時点)

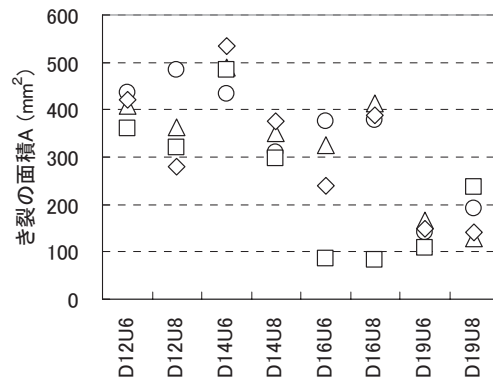
検査箇所	き裂の面積A(mm ²)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	435.6	407.2	360.4	420.0	427.8	383.8	405.8
D12U8	483.3	362.4	321.0	279.9	381.6	341.7	361.7
D14U6	434.7	488.8	484.7	535.2	485.0	486.7	485.8
D14U8	310.9	350.0	297.0	375.0	342.9	323.5	333.2
D16U6	376.2	324.2	86.8	239.9	308.0	205.5	256.8
D16U8	378.1	413.6	82.9	389.2	383.6	248.2	315.9
D19U6	142.0	167.4	109.3	150.0	146.0	138.4	142.2
D19U8	192.7	128.5	235.9	142.3	167.5	182.2	174.9

表 3.2.19 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (100 万回載荷時点)

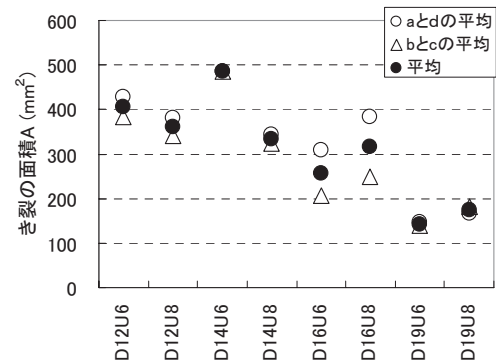
検査箇所	き裂の面積A(mm ²)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	545.4	574.0	540.3	532.3	538.9	557.1	548.0
D12U8	653.5	534.6	547.5	463.8	558.6	541.1	549.8
D14U6	581.5	626.7	598.7	843.8	712.7	612.7	662.7
D14U8	746.0	673.5	669.8	590.4	668.2	671.6	669.9
D16U6	630.9	582.2	611.3	657.5	644.2	596.8	620.5
D16U8	651.2	695.4	513.2	735.2	693.2	604.3	648.8
D19U6	353.2	251.4	221.4	326.4	339.8	236.4	288.1
D19U8	354.9	194.2	354.5	321.3	338.1	274.4	306.2

表 3.2.20 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (200 万回載荷時点)

検査箇所	き裂の面積A(mm ²)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	591.7	624.6	578.4	588.5	590.1	601.5	595.8
D12U8	743.9	685.4	784.8	604.9	674.4	735.1	704.7
D14U6	704.7	796.1	844.4	905.9	805.3	820.3	812.8
D14U8	996.1	870.4	757.9	813.7	904.9	814.2	859.5
D16U6	952.1	900.9	801.8	892.7	922.4	851.4	886.9
D16U8	857.6	874.5	825.1	952.3	904.9	849.8	877.4
D19U6	764.2	427.5	491.1	592.7	678.5	459.3	568.9
D19U8	493.0	288.8	648.9	536.4	514.7	468.8	491.8

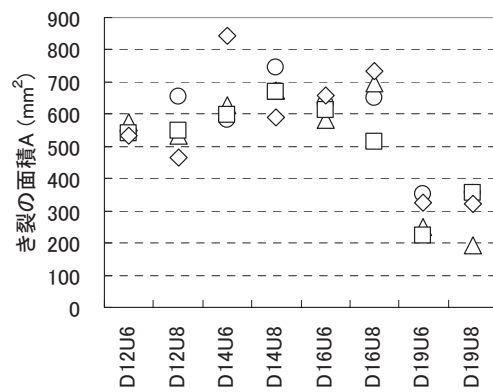


(a)

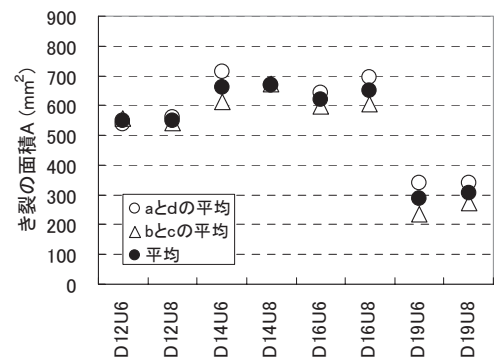


(b)

図 3.2.24 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (50 万回載荷時点)

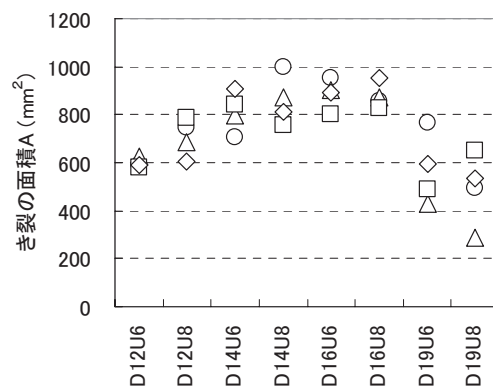


(a)

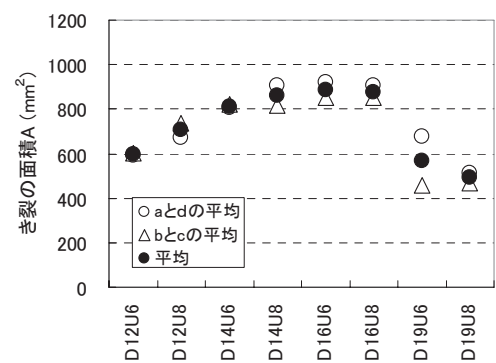


(b)

図 3.2.25 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (100 万回載荷時点)



(a)



(b)

図 3.2.26 UT 推定結果から算出したき裂の面積 A (200 万回載荷時点)

また、図 3.2.24～図 3.2.26 に示したき裂の面積 A の推計結果を、载荷回数毎に整理して推移を比較したものを図 3.2.27 に示す。

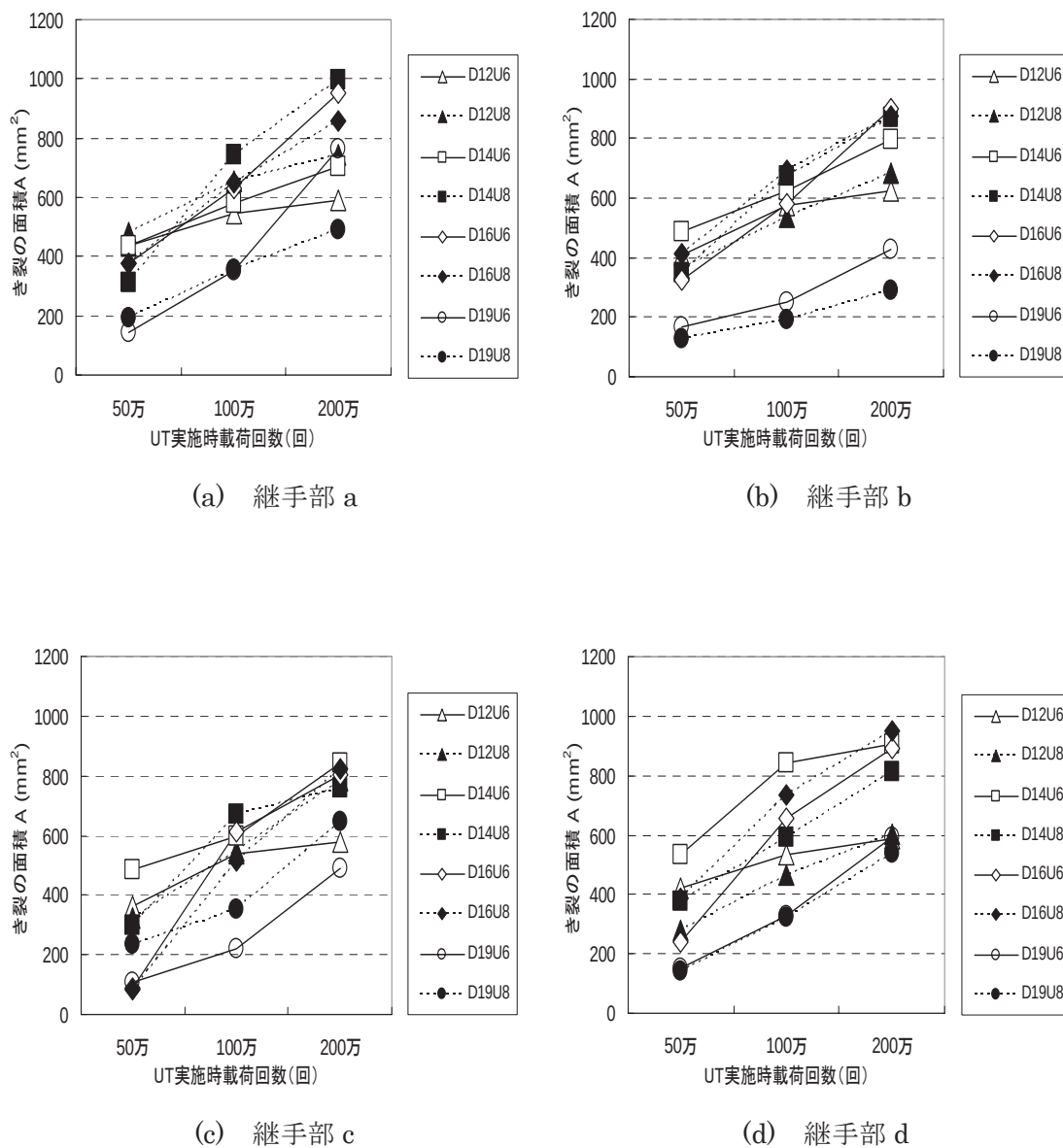
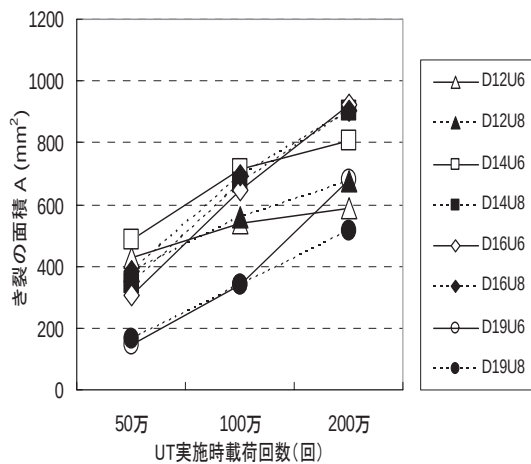
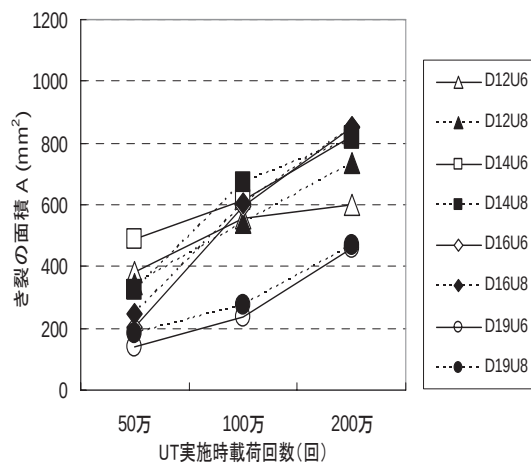


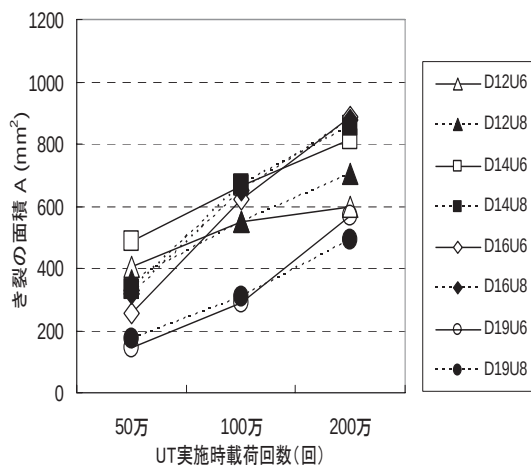
図 3.2.27(1) UT 推定による载荷回数とき裂の面積 A の変化



(e) 継手部 a と d の値の平均



(f) 継手部 b と c の値の平均



(g) 継手部 a, b, c, d の値の平均

図 3.2.27(2) UT 推定による载荷回数とき裂の面積 A の変化

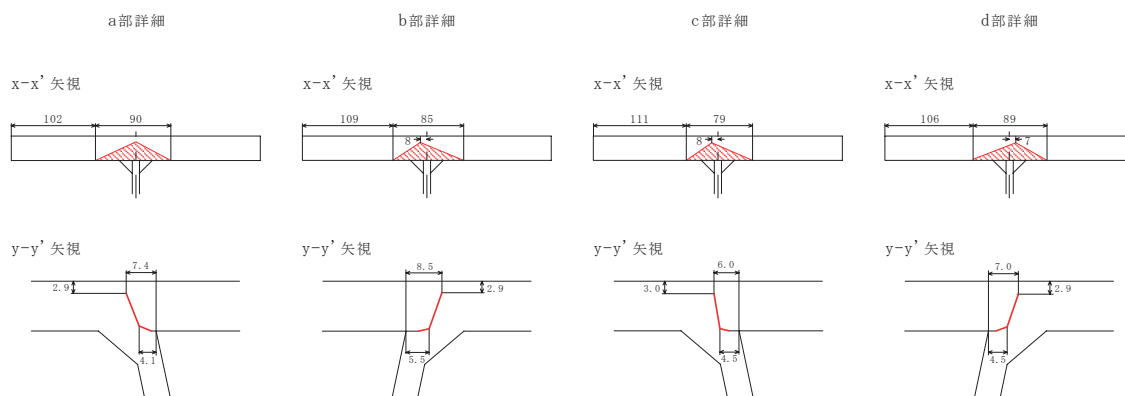
载荷回数によらず各ケースともやや溶接線毎のばらつきがみられる。

载荷回数 200 万回時点では、D16 以下のケースではデッキプレート板厚が大きいほどき裂面積も大きくなっており、D19 は他のケースに比べて顕著にき裂面積は小さい。き裂範囲 x と z の拡大傾向より D19 では载荷回数 200 万回以降の载荷継続によってき裂範囲はさらに拡大するものと考えられる。

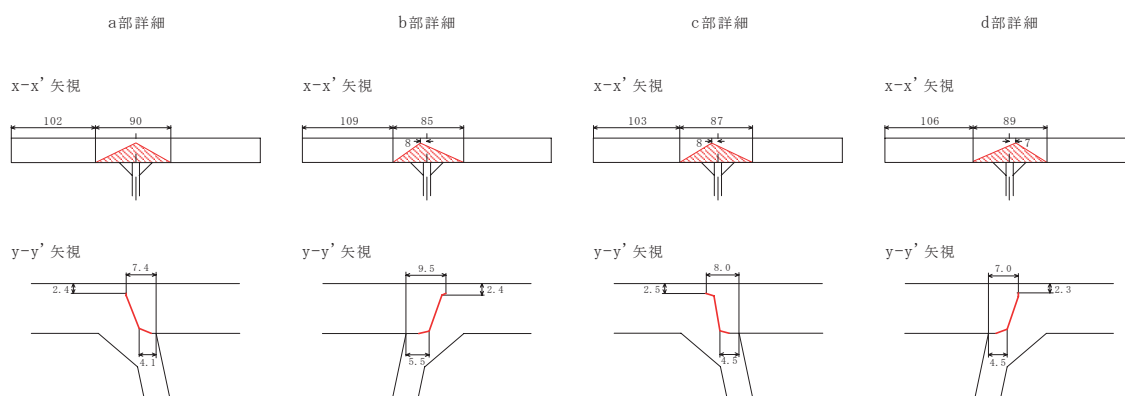
以上より、一定荷重振幅の繰り返しによって、デッキプレート貫通方向に拡大するき裂は、はじめは比較的急速に拡大したのち、ある程度板厚欠損が進んだ段階からやや進展速度が鈍化するような進展の特徴を有するものと考えられる。

そして、D16 以下に比べて D19 は、き裂の進展が顕著に抑制されており、載荷回数 200 万回時点では板厚欠損率も他のケースに比べて小さく、板厚欠損が進んだ段階以降に見られるき裂速度の鈍化段階に至る前に実験を終了したのと考えられた。

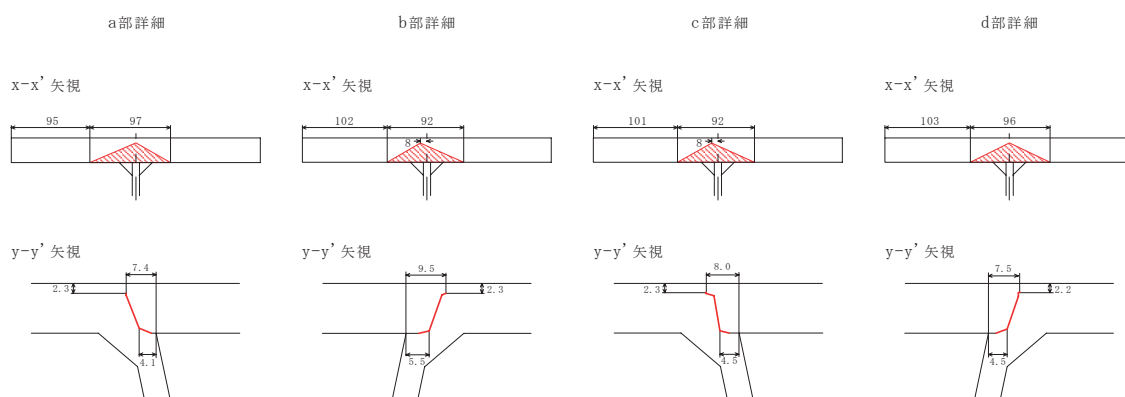
UT 結果から推定されたき裂進展の状態を図化したものを図 3.2.28～3.2.35 に示す。なおき裂の範囲はき裂面積の推定方法と同様にき裂の道のり最大位置とき裂の範囲 x の両端を直線で結ぶ三角形形状として図化した。図 3.2.36 にき裂範囲 (x,y,z) の拡大傾向を示す。なお、図 3.2.36 で y, z は推定寸法の 10 倍で拡大表示している。



(a) 50 万回終了時

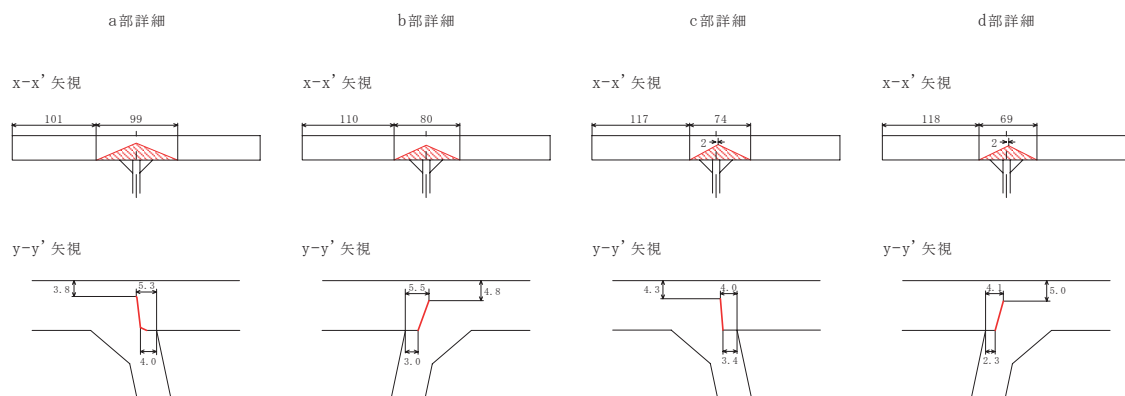


(b) 100 万回終了時

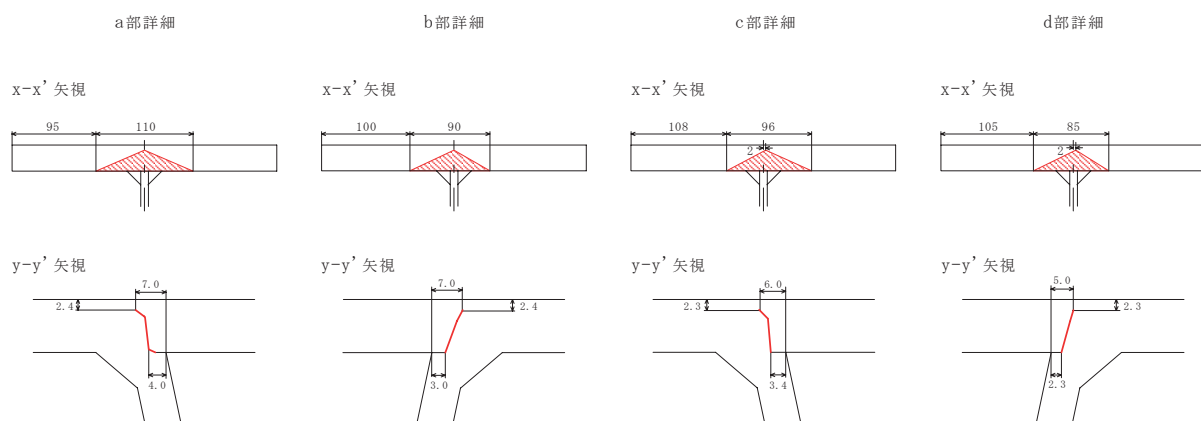


(c) 200 万回終了時

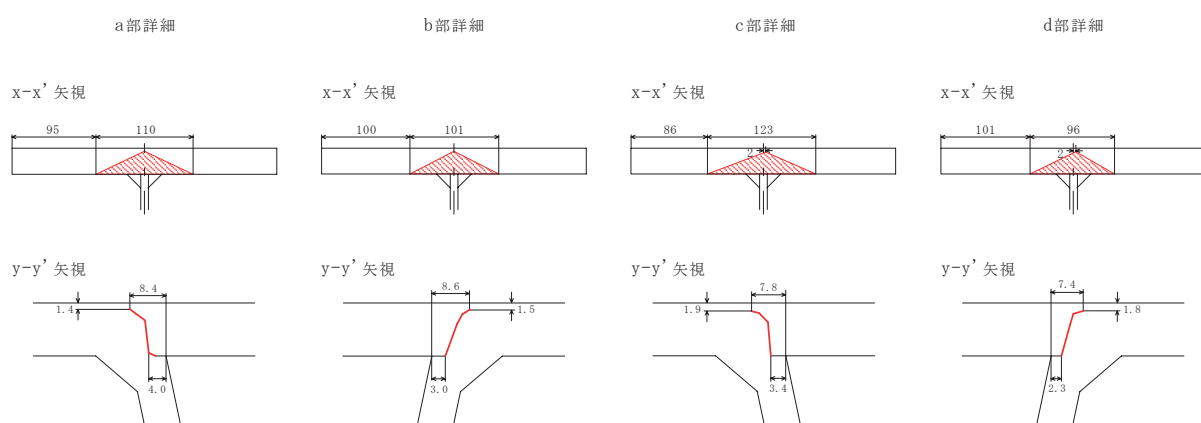
図 3.2.28 き裂の発生と進展の推定結果 (D12U6)



(a) 50 万回終了時

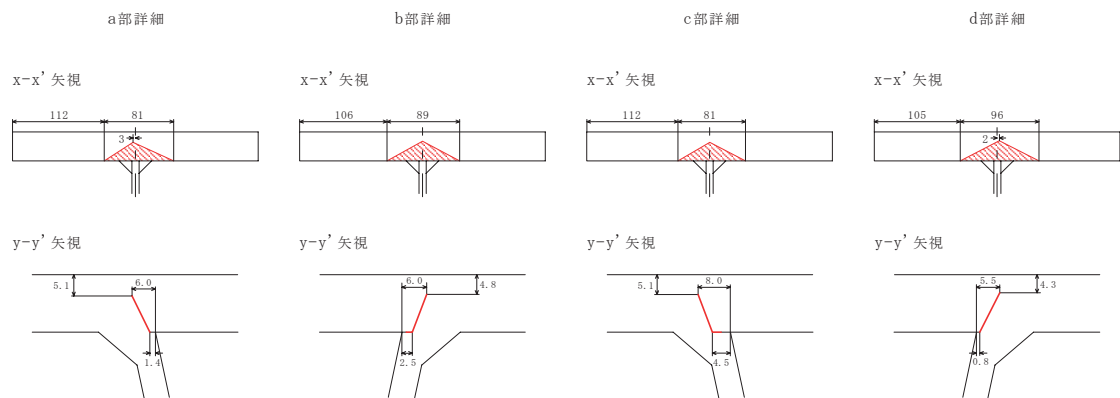


(b) 100 万回終了時

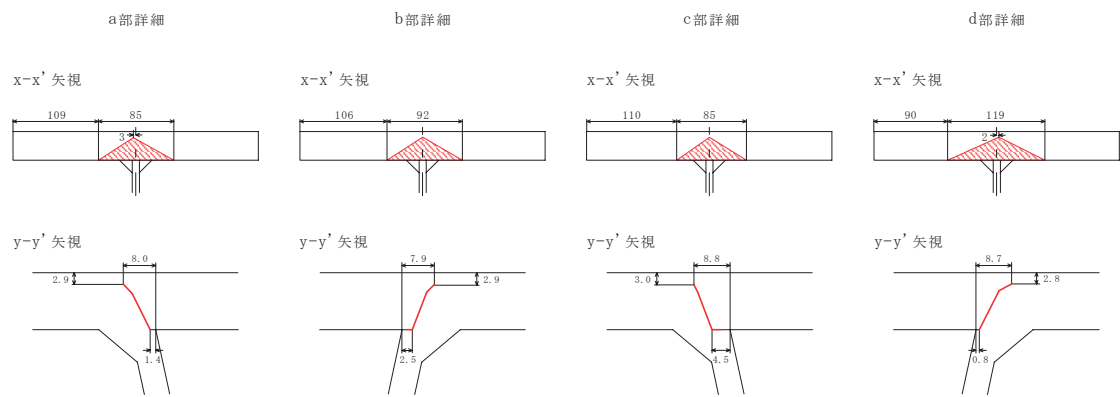


(c) 200 万回終了時

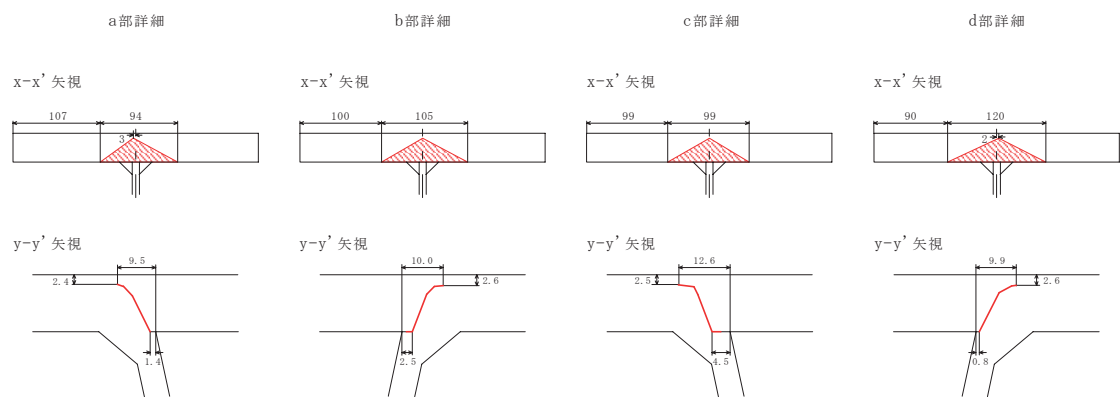
図 3.2.29 き裂の発生と進展の推定結果 (D12U8)



(a) 50 万回終了時

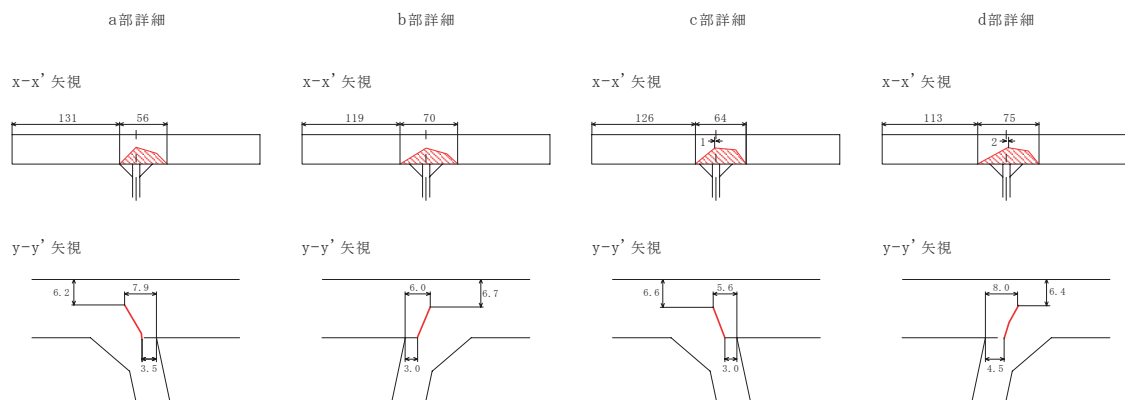


(b) 100 万回終了時

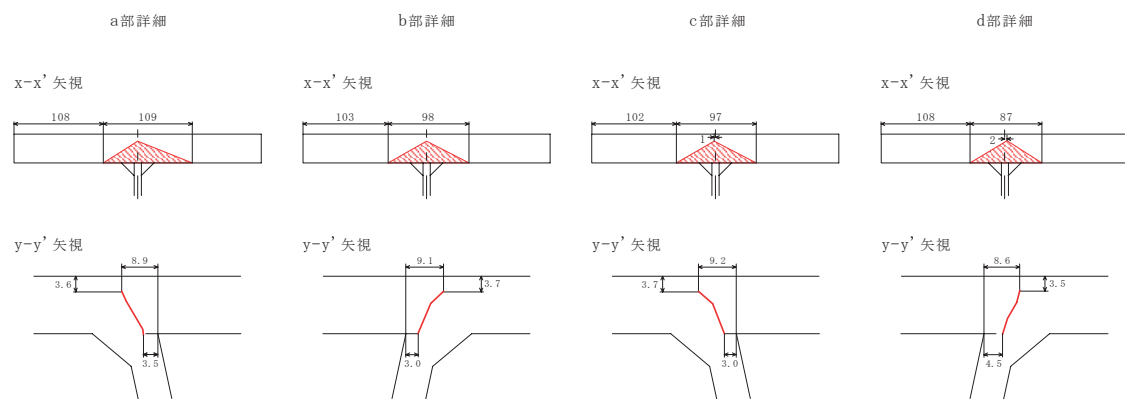


(c) 200 万回終了時

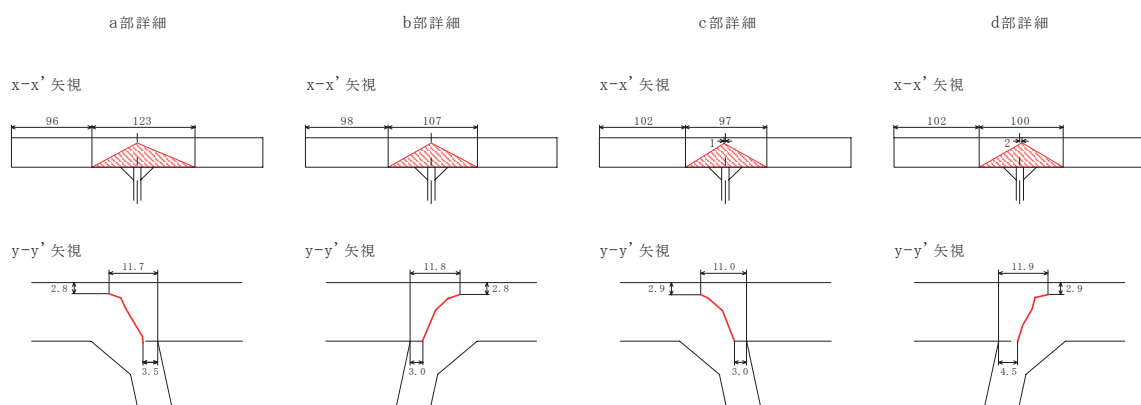
図 3.2.30 き裂の発生と進展の推定結果 (D14U6)



(a) 50 万回終了時

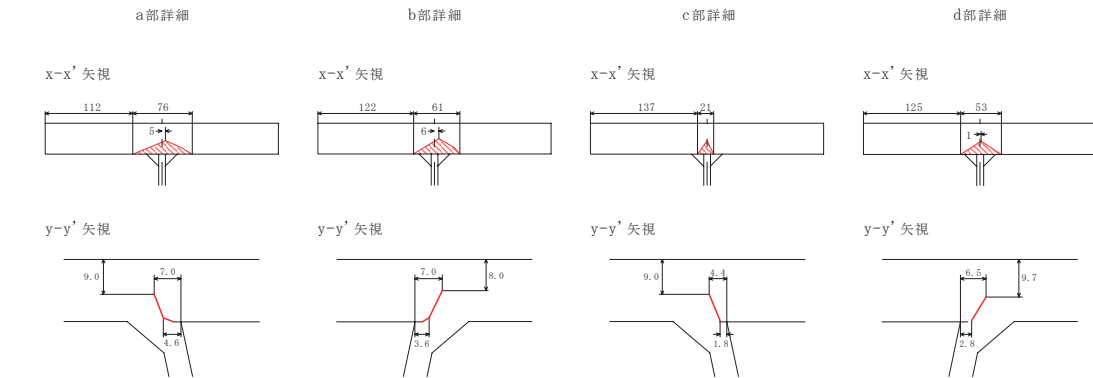


(b) 100 万回終了時

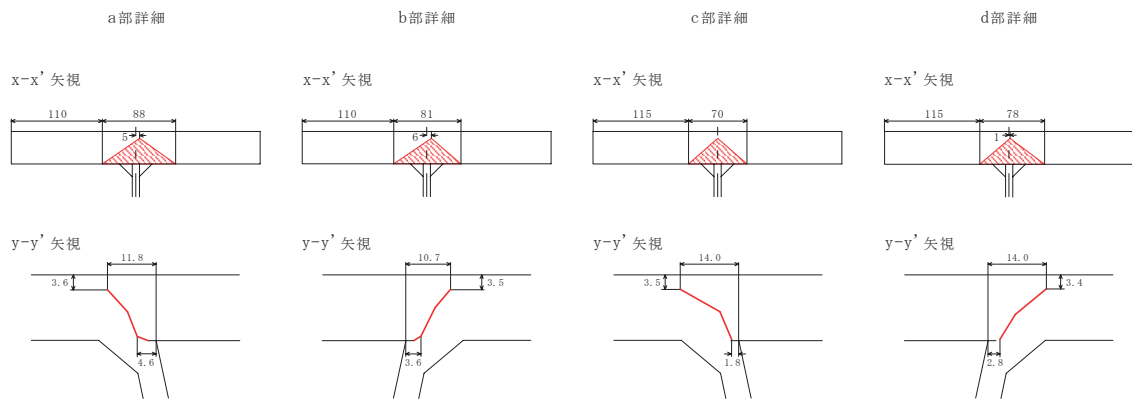


(c) 200 万回終了時

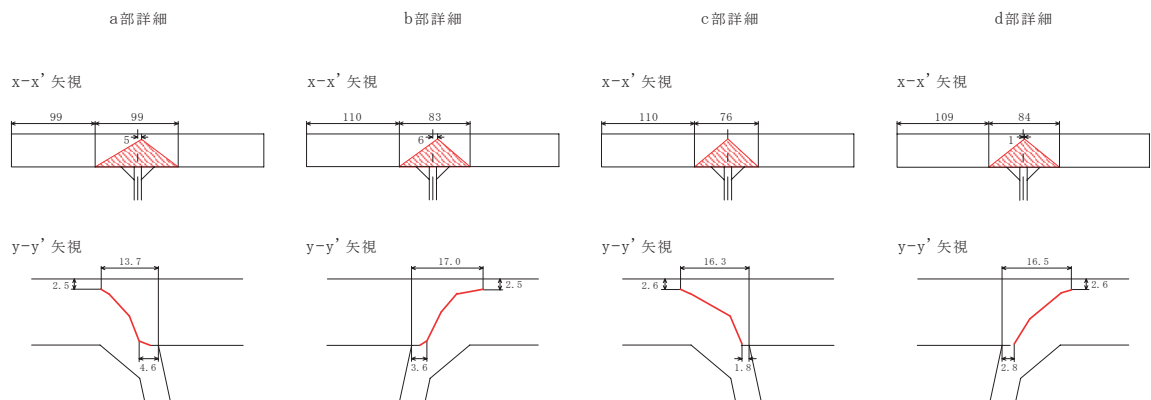
図 3.2.31 き裂の発生と進展の推定結果 (D14U8)



(a) 50 万回終了時

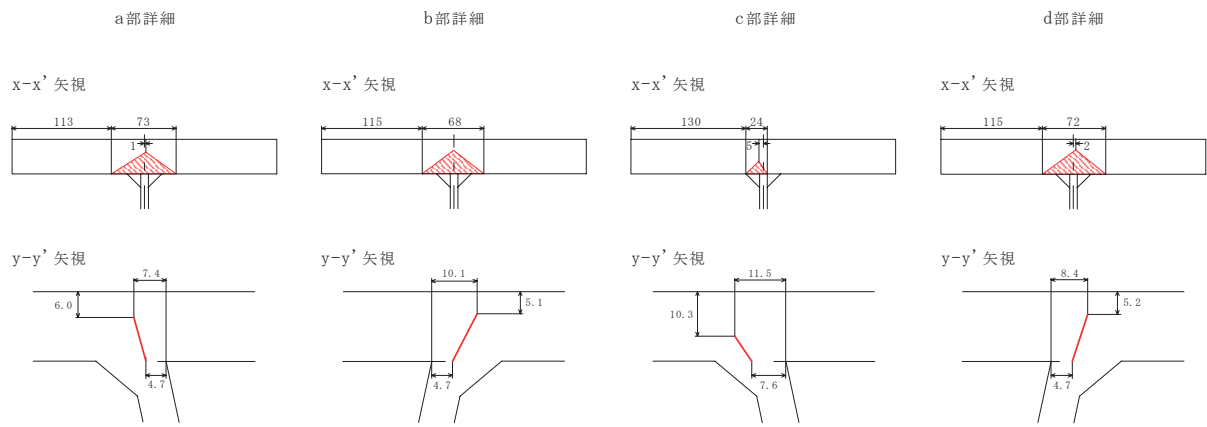


(b) 100 万回終了時

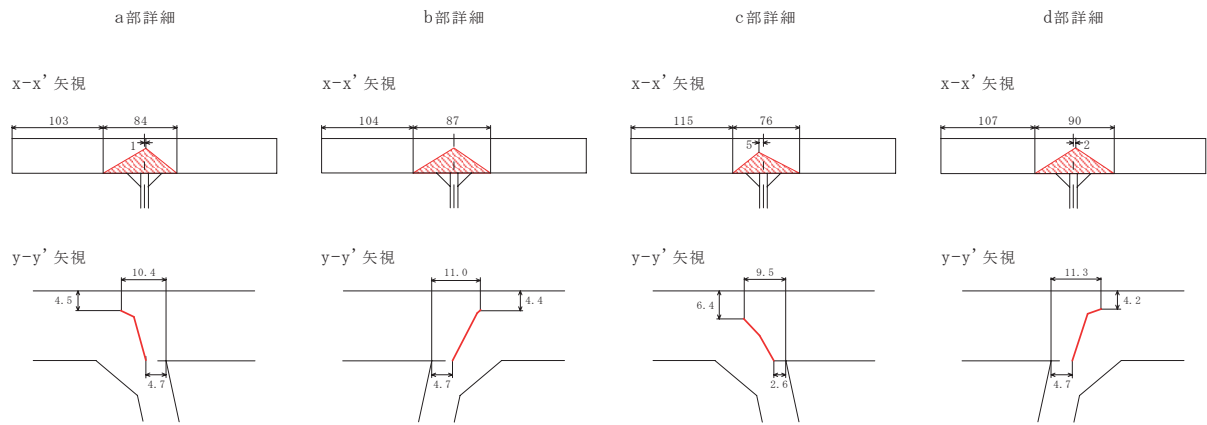


(c) 200 万回終了時

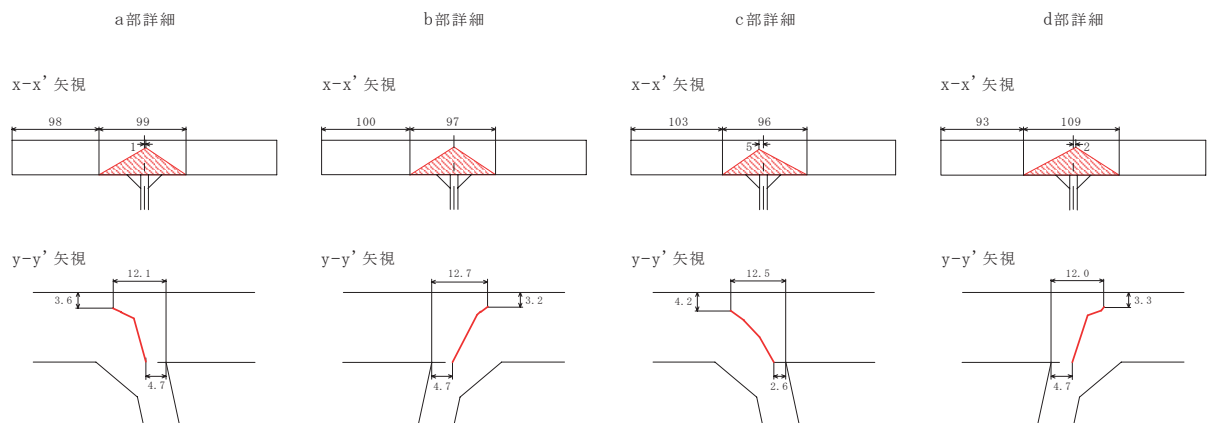
図 3.2.32 き裂の発生と進展の推定結果 (D16U6)



(a) 50 万回終了時

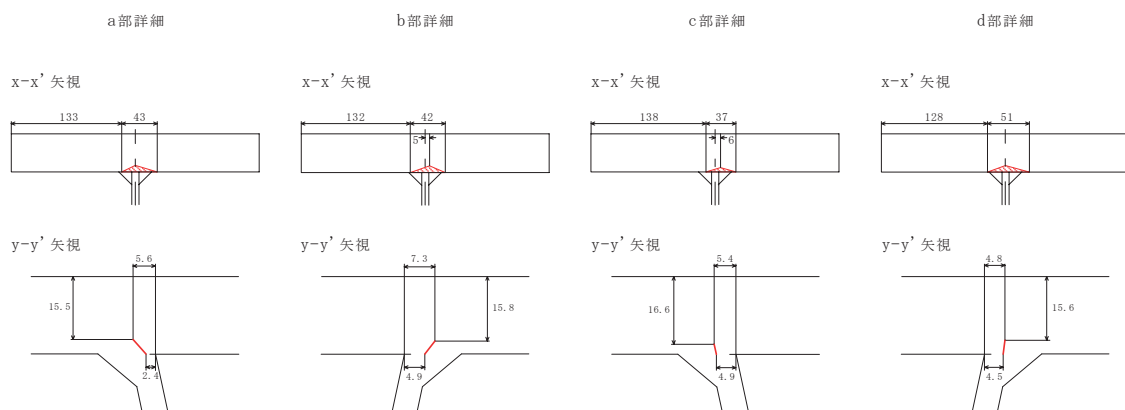


(b) 100 万回終了時

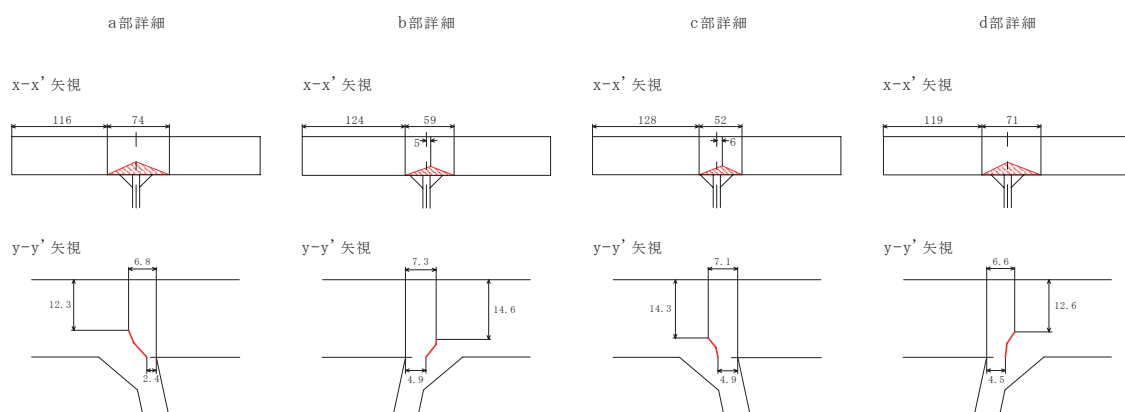


(c) 200 万回終了時

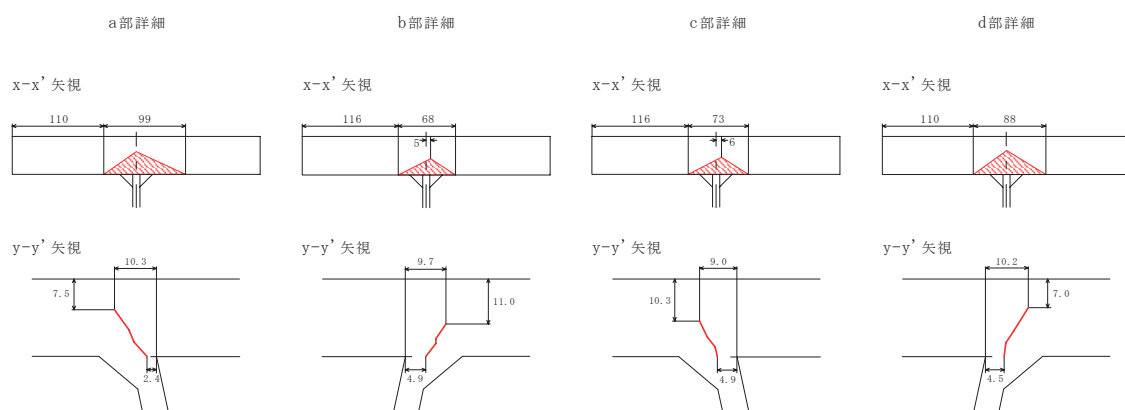
図 3.2.33 き裂の発生と進展の推定結果 (D16U8)



(a) 50 万回終了時

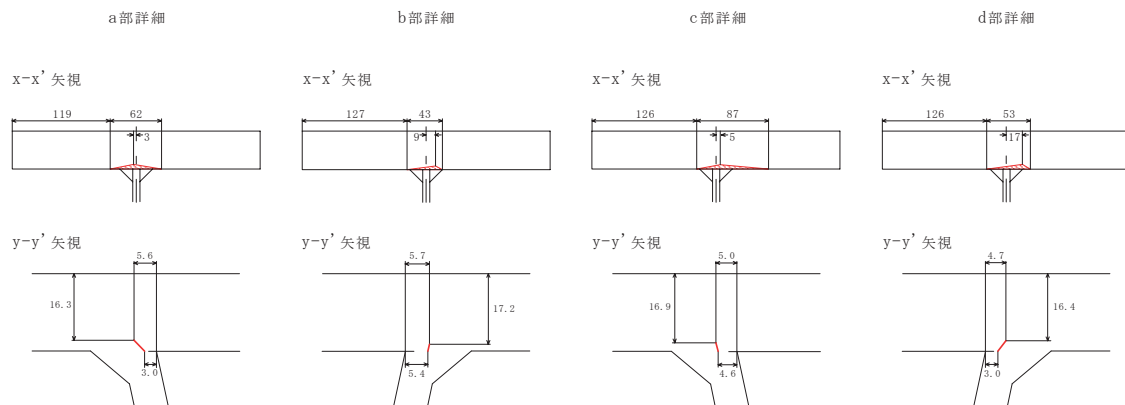


(b) 100 万回終了時

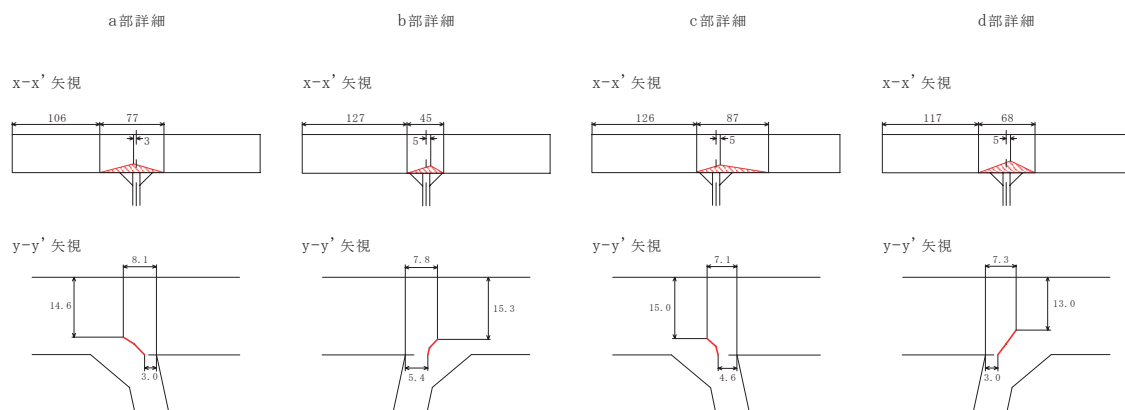


(c) 200 万回終了時

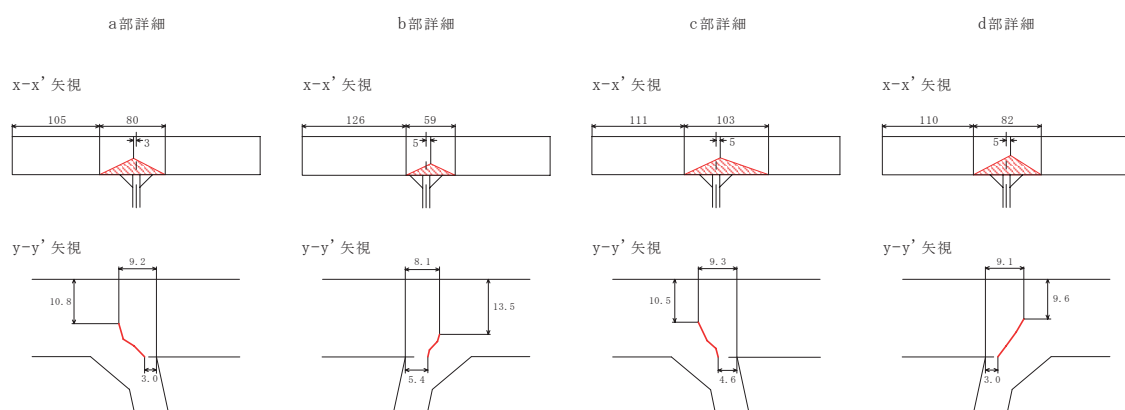
図 3.2.34 き裂の発生と進展の推定結果 (D19U6)



(a) 50 万回終了時

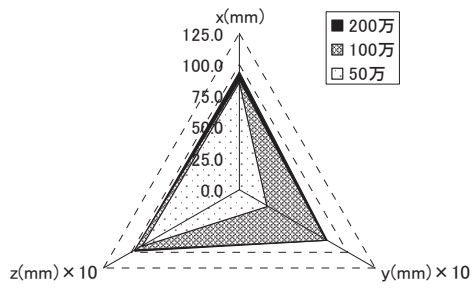


(b) 100 万回終了時

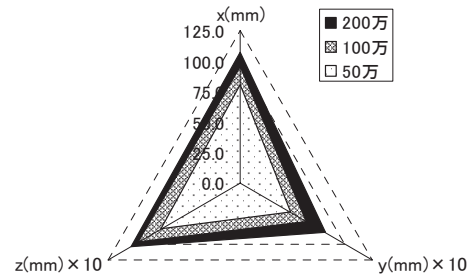


(c) 200 万回終了時

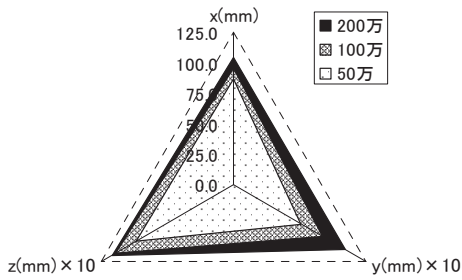
図 3.2.35 き裂の発生と進展の推定結果 (D19U8)



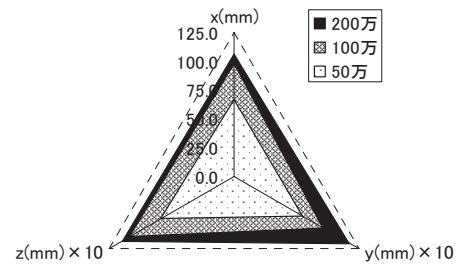
(a) D12U6



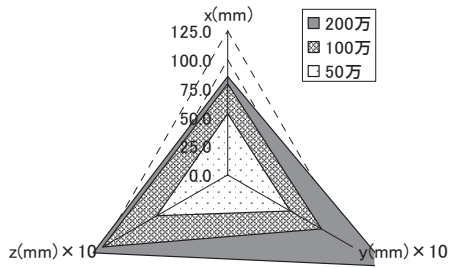
(b) D12U8



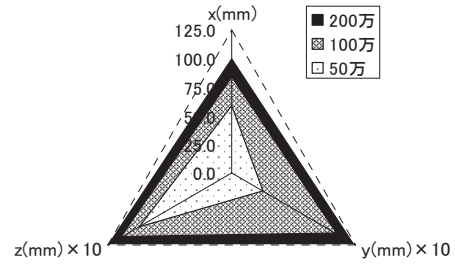
(c) D14U6



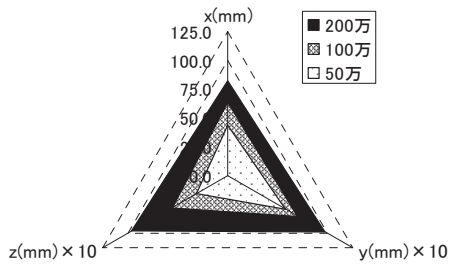
(d) D14U8



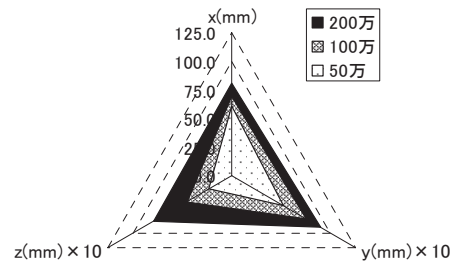
(e) D16U6



(f) D16U8



(g) D19U6



(h) D19U8

図 3.2.36 き裂（溶接範囲 x , y , z ）の拡大の傾向（各ケース a~d の平均）

き裂範囲 y とき裂範囲 z から各ケースの鋼床版断面内のき裂範囲の傾き（起点と終点を結ぶ直線の傾き）を求めたものを図 3.2.37 に示す。

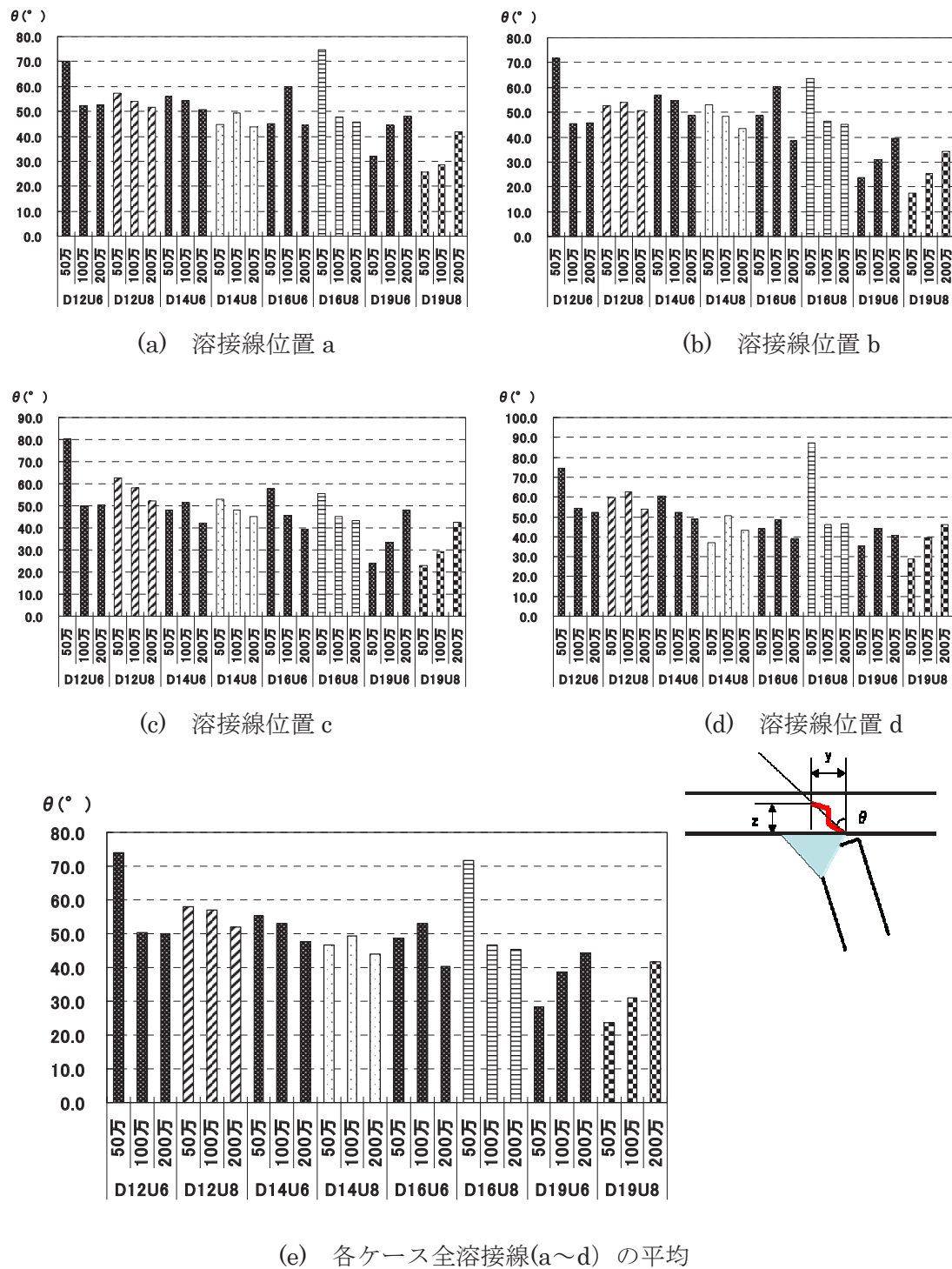


図 3.2.37 鋼床版断面内のき裂範囲の傾き

3.2.4 破面調査

疲労試験の途中段階での超音波探傷試験結果からのき裂進展状況の推定の妥当性の確認とき裂の起点や進展の状況を確認するために、定点繰返し载荷を 200 万回終了後に、低温脆性破壊させ破面の調査を行った。

破面調査は、図 3.2.38 に示すように供試体を切断したのち、き裂面が境界となるよう低温で脆性破壊させた。

なお、本実験では载荷試験完了段階で全てのケースでき裂がデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接ルート付近からデッキプレート内部を上方に向かって進展していることが超音波探傷試験で確認されていたが、き裂はデッキプレート上面までは進展していないことを確認している。

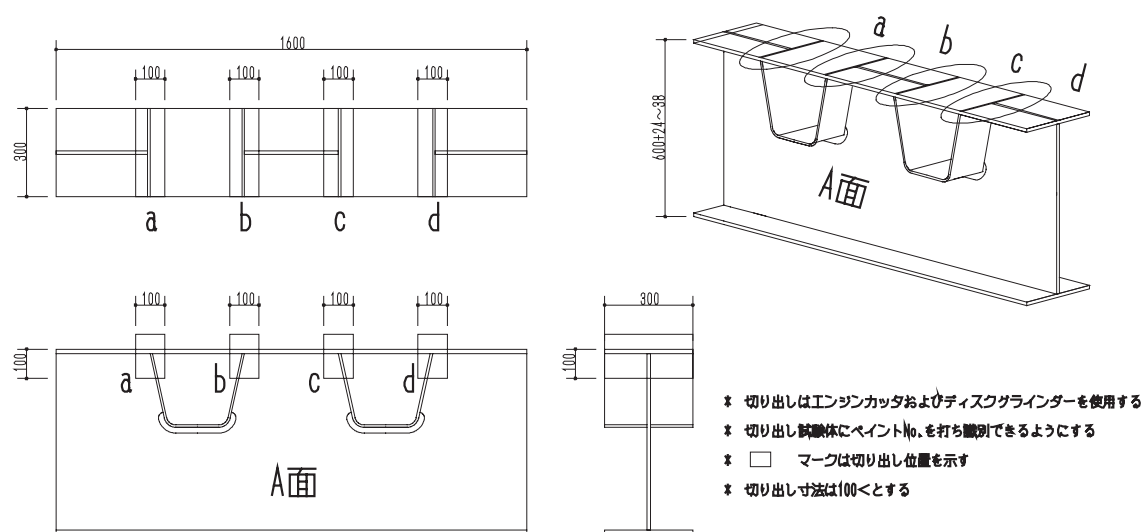


図 3.2.38 供試体切り出し加工図

写真 3.2.1, 写真 3.2.2 に実験後の破面の例とき裂面の位置のイメージを示す。本実験ではビーチマーク試験を行っていないため破面には载荷回数との関係を明確に示す特徴は現れていないが、き裂範囲の形状や表面の性状からは横リブ位置付近を起点として放射状にき裂範囲が拡大したものと考えられる。各ケースの破面写真は、資料 1 に示す。



写真 3.2.1 破壊後の破面の例

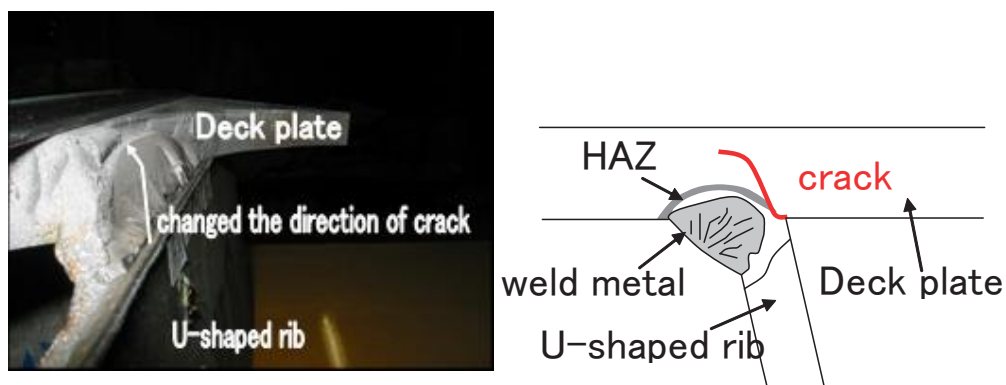


写真 3.2.2 実験終了後の破面

写真 3.2.3 及び 4 に、D19U8 の破面の例を示す。この例では複数のき裂が同時に発生拡大していたことが疑われる。このように供試体によってはき裂の起点が必ずしも 1 箇所でないケースが一部みられたが、き裂が一体化していない場合にはより大きいものを代表として整理した。

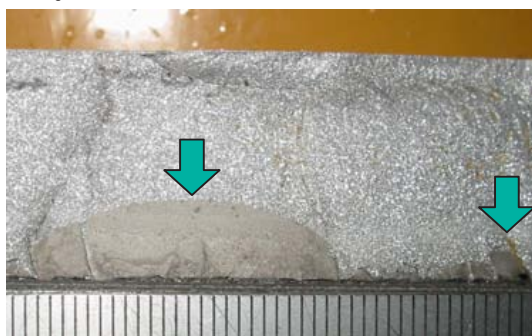


写真 3.2.3 き裂の断面図



写真 3.2.4 き裂の断面図

き裂進展の概念図破壊後に暴露されたき裂面の観察とき裂範囲の寸法等の計測を行った。
図 3.2.39, 図 3.2.40 とき裂範囲の計測方法の概要を示す。

デッキプレート下面位置から上方へのき裂高さ (Z), トラフリブ方向のき裂範囲寸法 (X),
デッキプレートとトラフリブの縦方向溶接のルート位置からデッキプレート面方向にトラ
フリブ軸と直交方向の進展長さ (Y) として各供試体の計測を行った。

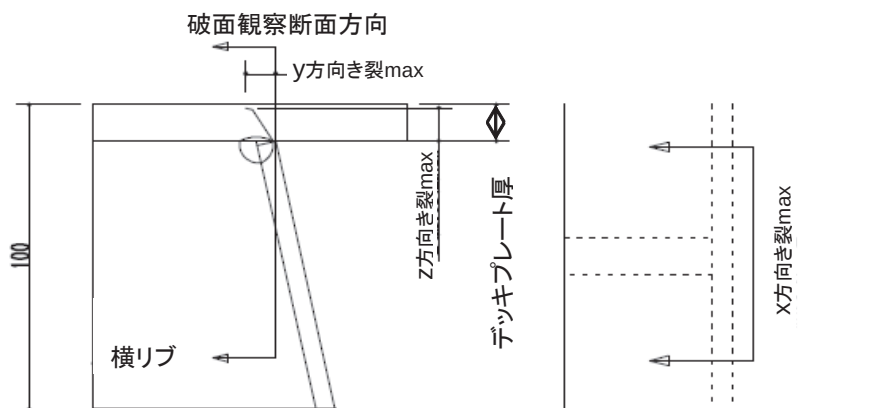


図 3.2.39 き裂範囲の計測要領

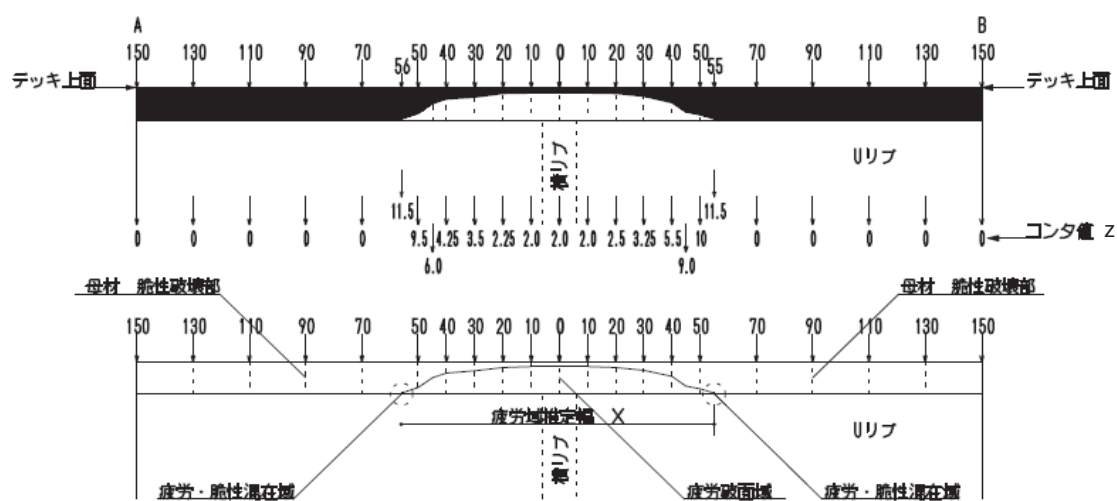


図 3.2.40 計測要領 (D12U6a)

各供試体の a~d の 4 つの対象溶接線の全てについて破面観察結果から算出したき裂の範囲
等について表 3.2.21 から表 3.2.26, 及び図 3.2.41 から図 3.2.46 に示す。

表 3.2.21 破壊試験で特定したき裂範囲 x

検査箇所	き裂範囲x(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a~dの 平均
D12U6	111.0	116.5	100.5	109.5	110.3	108.5	109.4
D12U8	111.0	88.0	98.3	109.5	110.3	93.2	101.7
D14U6	94.0	104.0	100.0	122.0	108.0	102.0	105.0
D14U8	87.0	92.5	80.0	86.0	86.5	86.3	86.4
D16U6	87.5	87.0	84.0	77.5	82.5	85.5	84.0
D16U8	115.0	99.0	92.0	104.5	109.8	95.5	102.6
D19U6	73.5	60.0	60.5	69.0	71.3	60.3	65.8
D19U8	55.0	26.0	63.0	74.0	64.5	44.5	54.5

表 3.2.22 破壊試験で特定したき裂範囲 y

検査箇所	き裂範囲y(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a~dの 平均
D12U6	7.0	8.0	7.5	8.5	7.8	7.8	7.8
D12U8	6.5	7.0	8.0	6.5	6.5	7.5	7.0
D14U6	9.5	9.5	11.0	11.0	10.3	10.3	10.3
D14U8	9.9	9.5	10.5	10.0	10.0	10.0	10.0
D16U6	10.0	10.0	7.5	9.0	9.5	8.8	9.1
D16U8	10.0	12.0	11.8	11.0	10.5	11.9	11.2
D19U6	9.0	9.5	10.0	9.5	9.3	9.8	9.5
D19U8	9.0	5.5	8.0	9.5	9.3	6.8	8.0

表 3.2.23 破壊試験で特定したき裂範囲 z

検査箇所	き裂範囲z(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a~dの 平均
D12U6	10.0	10.3	10.0	10.3	10.2	10.2	10.2
D12U8	10.3	9.5	10.0	9.8	10.1	9.8	9.9
D14U6	11.1	11.1	11.1	11.2	11.2	11.1	11.1
D14U8	11.0	11.0	11.0	11.3	11.2	11.0	11.1
D16U6	12.1	11.8	10.8	11.2	11.7	11.3	11.5
D16U8	12.6	12.5	12.0	13.0	12.8	12.3	12.5
D19U6	10.8	8.7	9.5	11.0	10.9	9.1	10.0
D19U8	8.0	5.5	9.0	10.0	9.0	7.3	8.1

表 3.2.24 破壊試験で特定したき裂範囲から算出した板厚欠損率

検査箇所	板厚欠損率(%)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	83.3	85.8	83.3	85.8	84.6	84.6	84.6
D12U8	85.8	79.2	83.3	81.7	83.8	81.3	82.5
D14U6	79.3	79.3	79.3	80.0	79.6	79.3	79.5
D14U8	78.6	78.6	78.6	80.7	79.6	78.6	79.1
D16U6	75.6	73.8	67.5	70.0	72.8	70.6	71.7
D16U8	78.8	78.1	75.0	81.3	80.0	76.6	78.3
D19U6	56.8	45.8	50.0	57.9	57.4	47.9	52.6
D19U8	42.1	28.9	47.4	52.6	47.4	38.2	42.8

表 3.2.25 破壊試験で特定したき裂範囲から算出したき裂の道のり L

検査箇所	き裂の道のりL(mm)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	12.2	13.0	12.5	13.4	12.8	12.8	12.8
D12U8	12.2	11.8	12.8	11.8	12.0	12.3	12.1
D14U6	14.6	14.6	15.6	15.7	15.2	15.1	15.1
D14U8	14.8	14.5	15.2	15.1	14.9	14.9	14.9
D16U6	15.7	15.5	13.1	14.4	15.0	14.3	14.7
D16U8	16.1	17.3	16.8	17.0	16.6	17.1	16.8
D19U6	14.1	12.9	13.8	14.5	14.3	13.3	13.8
D19U8	12.0	7.8	12.0	13.8	12.9	9.9	11.4

表 3.2.26 破壊試験で特定したき裂範囲から求めたき裂の面積 A

検査箇所	き裂の面積A(mm ²)						
	a	b	c	d	aとdの 平均	bとcの 平均	a～dの 平均
D12U6	677.5	759.7	628.1	731.2	704.3	693.9	699.1
D12U8	676.0	519.2	629.4	643.8	659.9	574.3	617.1
D14U6	686.7	759.7	781.4	957.6	822.1	770.5	796.3
D14U8	643.8	672.2	608.3	648.8	646.3	640.2	643.3
D16U6	686.8	672.8	552.2	556.8	621.8	612.5	617.2
D16U8	924.9	857.7	774.2	889.8	907.4	815.9	861.7
D19U6	516.6	386.5	417.2	501.4	509.0	401.8	455.4
D19U8	331.1	101.1	379.3	510.3	420.7	240.2	330.5

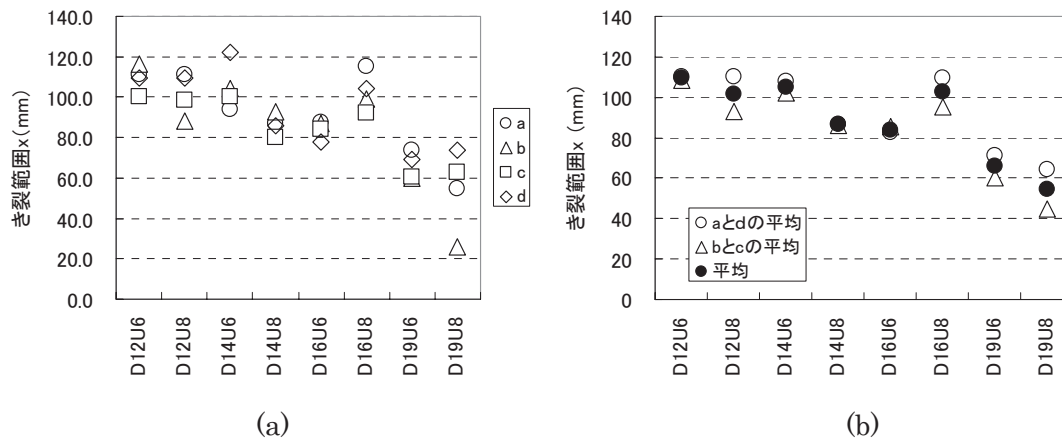


図 3.2.41 破壊試験で特定したき裂の範囲 x

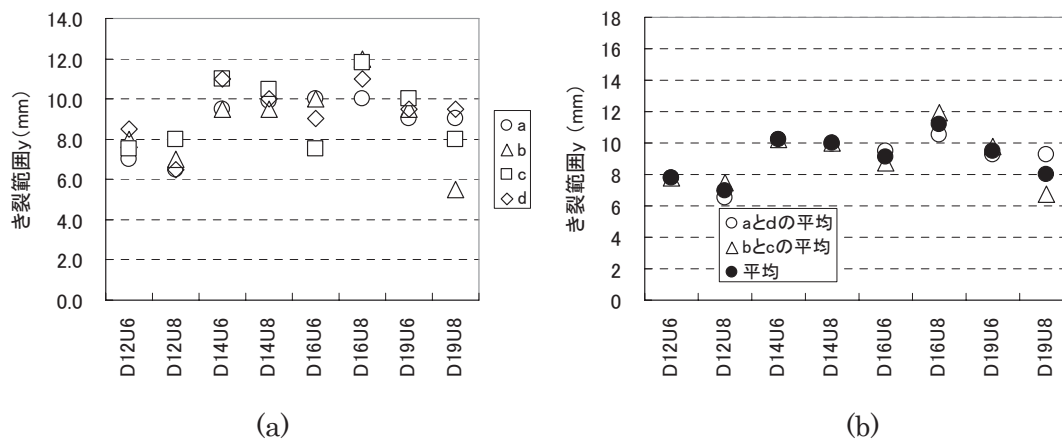


図 3.2.42 破壊試験で特定したき裂の範囲 y

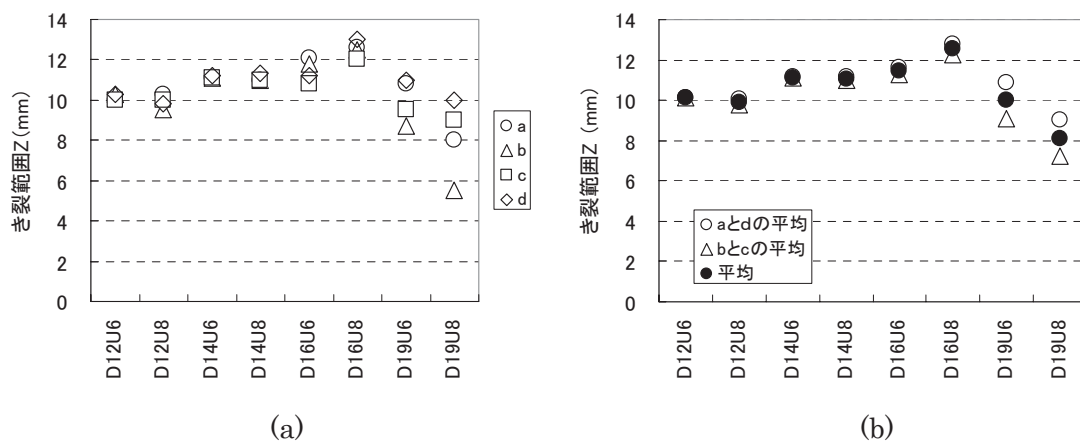


図 3.2.43 破壊試験で特定したき裂の範囲 z

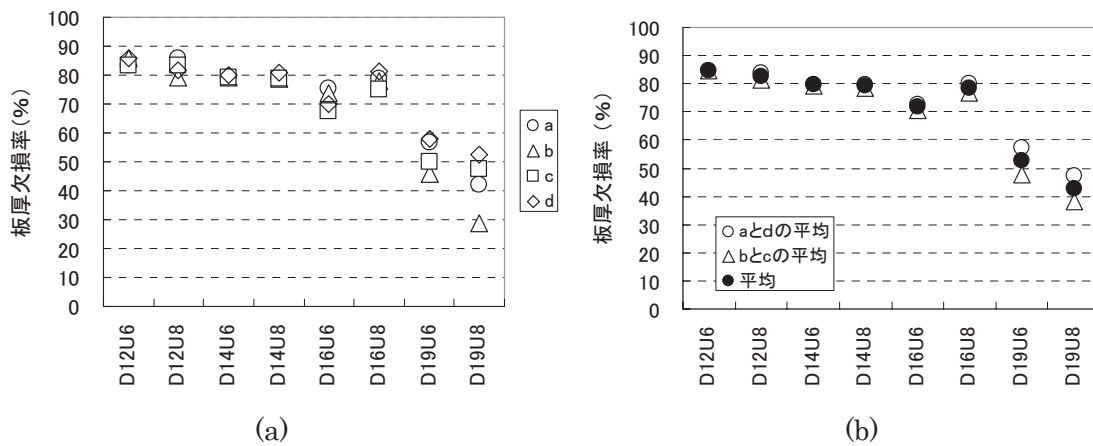


図 3.2.44 破壊試験で特定したき裂の範囲から算出した断面欠損率

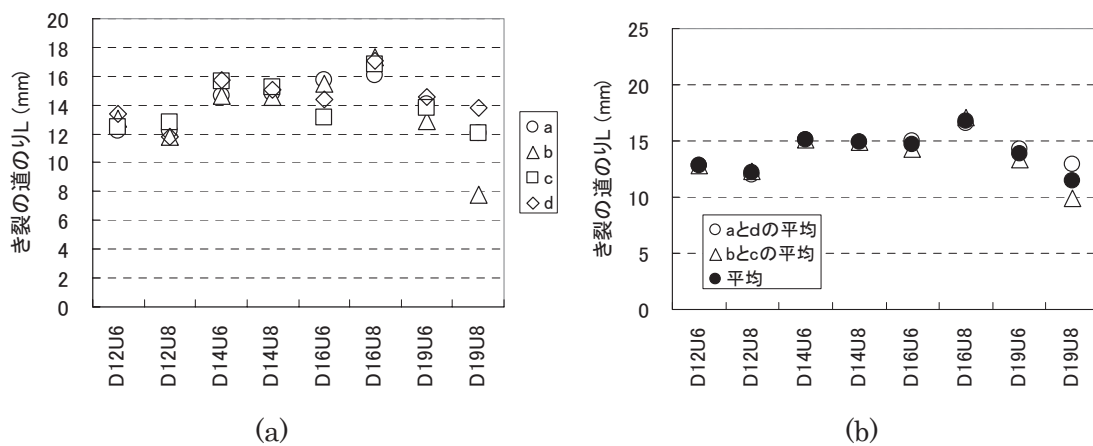


図 3.2.45 破壊試験で特定したき裂の範囲から算出したき裂の道のり L

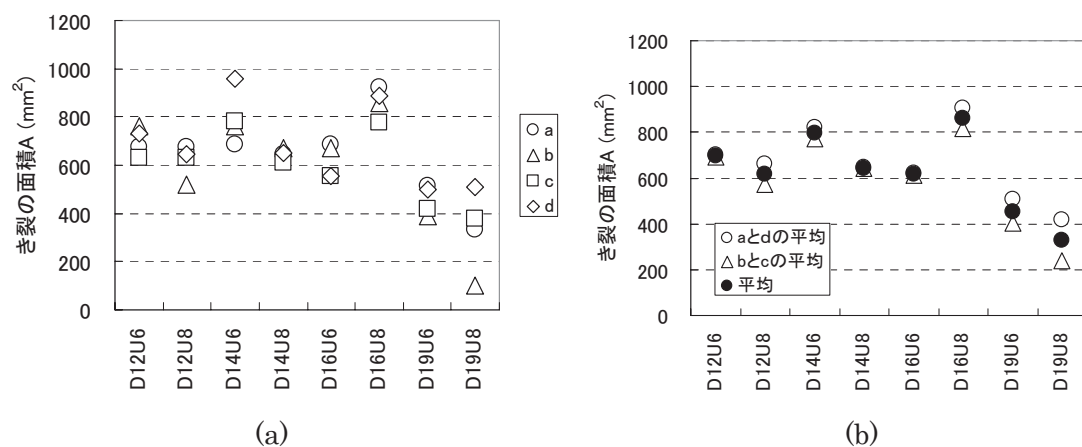


図 3.2.46 破壊試験で特定したき裂の範囲から算出したき裂の面積 A

3.2.5 破面観察結果と超音波探傷試験による推定結果の比較

200 万回の繰り返し載荷試験の終了直後に実施した超音波探傷試験からの推定き裂範囲と試験後の破面観察で特定したき裂範囲の比較を行った。

その結果、超音波探傷試験からの推定結果と破面観察結果はほとんどのケースでよい一致を示した。特にデッキプレート内部へのき裂進展深さ (z) については両者の結果はほぼ一致しており、超音波探傷試験によってデッキプレート貫通き裂の板厚内部への高さ方向の進展深さは精度よく推定できる可能性が高いことが示された。

表 3.2.27 及び 28 に a~d の対象継手の全平均結果でのき裂状態の UT 推定結果と破壊試験結果の比較を示す。

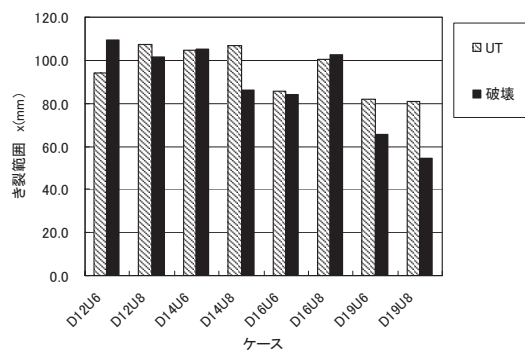
図 3.2.47 から図 3.2.52 にこれらをグラフ化したものを示す。

表 3.2.27 き裂状態の UT 推定結果と破壊試験結果の比較(1)

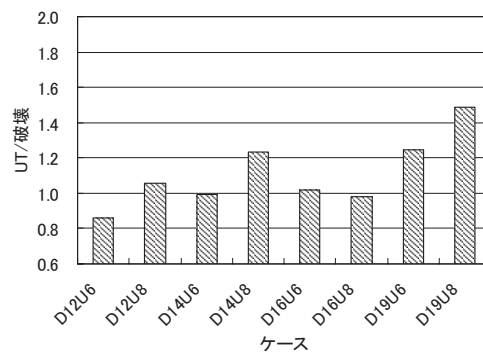
ケース	UTからの推定 (200万回時点) (a,b,c,dの平均)					破壊試験結果 (a,b,c,dの平均)				
	き裂範囲x (mm)	き裂範囲y (mm)	き裂範囲z (mm)	き裂の道のりL(mm)	き裂の面積 A(mm ²)	き裂範囲x (mm)	き裂範囲y (mm)	き裂範囲z (mm)	き裂の道のりL(mm)	き裂の面積 A(mm ²)
D12U6	94.3	8.1	9.7	12.7	595.8	109.4	7.8	10.1	12.8	698.0
D12U8	107.5	8.1	10.4	13.1	704.7	101.7	7.0	9.9	12.1	615.9
D14U6	104.5	10.5	11.5	15.6	812.8	105.0	10.3	11.1	15.1	796.3
D14U8	106.8	11.6	11.2	16.1	859.5	86.4	10.0	11.1	14.9	642.9
D16U6	85.5	15.9	13.5	20.8	886.9	84.0	9.1	11.5	14.7	617.2
D16U8	100.3	12.3	12.4	17.5	877.4	102.6	11.2	12.5	16.8	861.7
D19U6	82.0	9.8	9.6	13.7	568.9	65.8	9.5	10.0	13.8	455.4
D19U8	81.0	8.9	7.9	11.9	491.8	54.5	8.0	8.1	11.4	330.5

表 3.2.28 き裂状態の UT 結果と破壊試験結果の比較(2)

ケース	UT結果/破壊試験結果 (a,b,c,dの平均)				
	き裂範囲 x	き裂範囲 y	き裂範囲 z	き裂の道のり L	き裂の面積 A
D12U6	0.86	1.04	0.96	0.99	0.85
D12U8	1.06	1.15	1.05	1.08	1.14
D14U6	1.00	1.02	1.03	1.03	1.02
D14U8	1.24	1.16	1.00	1.08	1.34
D16U6	1.02	1.74	1.17	1.42	1.44
D16U8	0.98	1.10	0.99	1.04	1.02
D19U6	1.25	1.03	0.96	1.00	1.25
D19U8	1.49	1.12	0.98	1.05	1.49

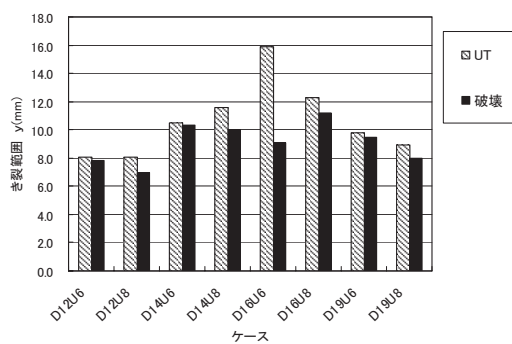


(a)

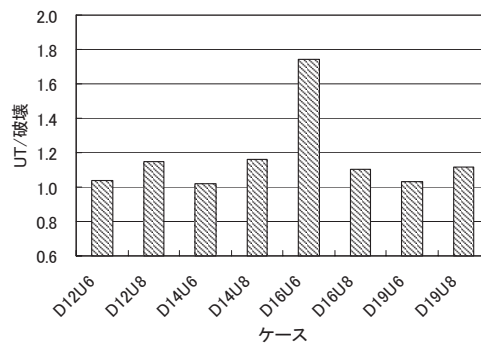


(b)

図 3.2.47 UT 推定結果と破壊試験結果の比較 (き裂範囲 x)

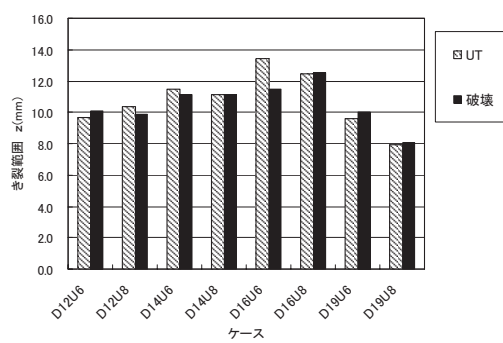


(a)

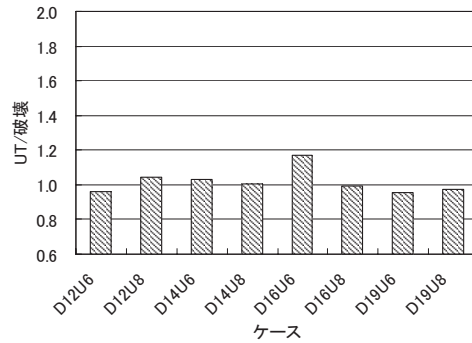


(b)

図 3.2.48 UT 推定結果と破壊試験結果の比較 (き裂範囲 y)

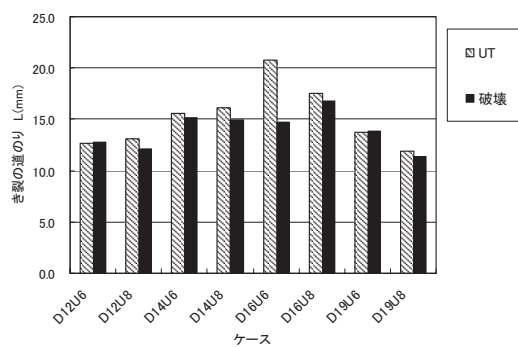


(a)

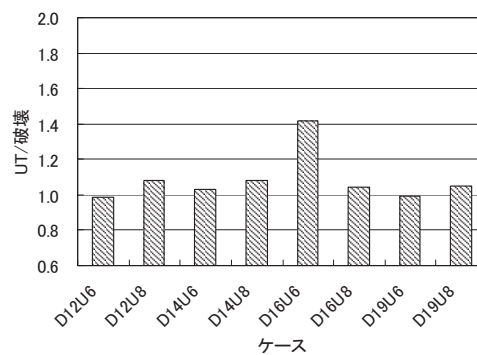


(b)

図 3.2.49 UT 推定結果と破壊試験結果の比較 (き裂範囲 z)

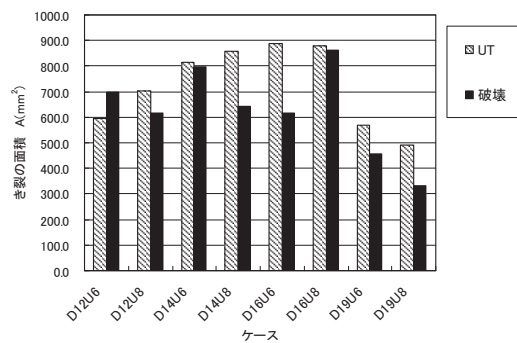


(a)

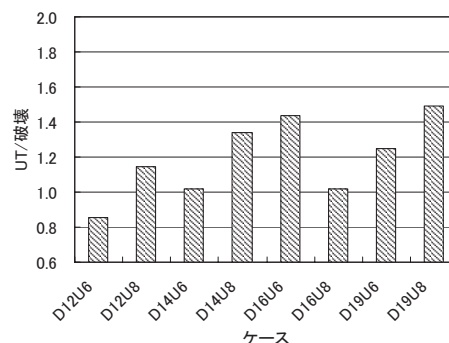


(b)

図 3.2.50 UT 推定結果と破壊試験結果の比較 (き裂の道のり L)

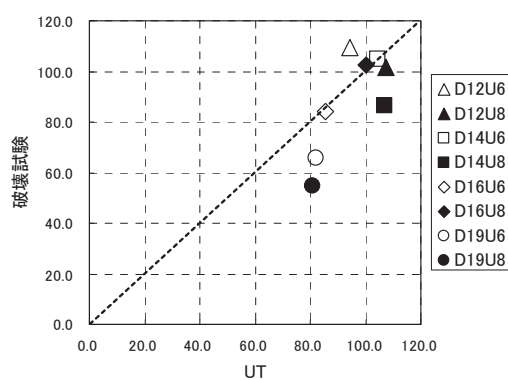


(a)

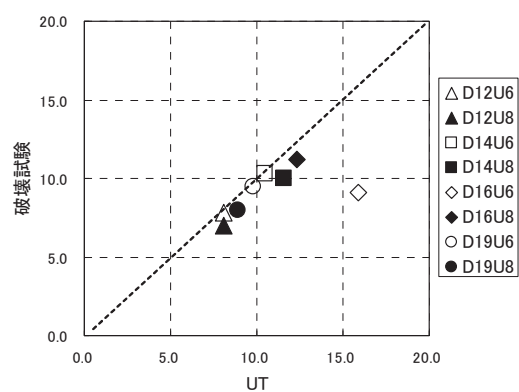


(b)

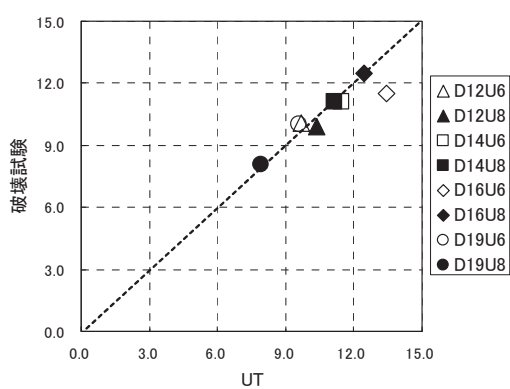
図 3.2.51 UT 推定結果と破壊試験結果の比較 (き裂の面積 A)



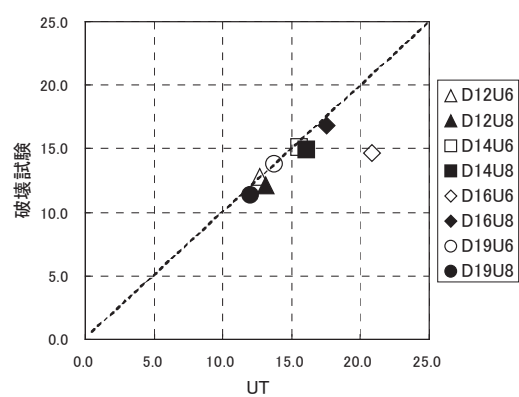
(a) き裂の範囲 x



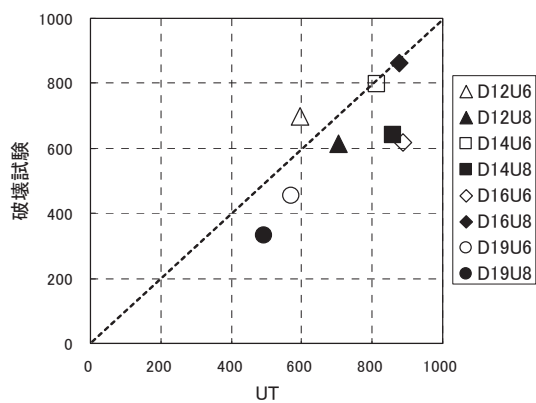
(b) き裂の範囲 y



(c) き裂の範囲 z



(d) き裂の道のり L



(e) き裂の面積 A

図 3.2.52 UT 推定結果と破壊試験結果の比較

3.2.6 ひずみの計測結果

(1) 概要

疲労試験の各途中段階で、き裂の発生・進展の検出とその影響による耐荷力機構など構造系の変化を把握するために、静的載荷を行って各部のひずみを計測している。

図 3.2.53 にひずみゲージの貼付位置を示す。ひずみゲージは全て 1 軸ゲージでゲージ①～⑩は橋軸直角方向、ゲージ⑪～⑬は橋軸方向の計測である。ゲージ⑪から⑬の橋軸方向ひずみの計測は解析との比較用として追加したものでありデッキプレート板厚 12mm のケース (D12U6, D12U8) では計測していない。

ひずみ計測時の静的載荷では、一定荷重載荷に対する応答を把握するために、10kN, 110kN の 2 ケースの載荷を行いそれに対応するひずみの計測を行った。また初期状態からの塑性変形などの変化を把握するため完全除荷 (0kN) 時のひずみの計測を行った。

図 3.2.55 にひずみの計測結果の例を示す。

(a)は、載荷回数段階毎に 10kN, 110kN で静的に載荷した際のひずみの計測値を時系列に沿って結んだグラフ (以下「ひずみ波形」という。) である。(b)は同じ載荷回数での 10kN 載荷時と 110kN 載荷時のひずみの差 (以下「ひずみ振幅」という。) の推移を示した図である。(c)は、完全除荷 (0kN) 時のひずみ (以下「残留ひずみ」という。) の推移を示した図である。

なお、各ケース計測対象となるトラフリブとデッキプレートの縦溶接継手部が 4 箇所 (a～d) あり、特記のない場合は a～d の平均値である。それぞれの継手に対応した位置の計測結果の場合には図中等に記号で区別した。計測点①の場合の記号の例を図 3.2.54 に示す。

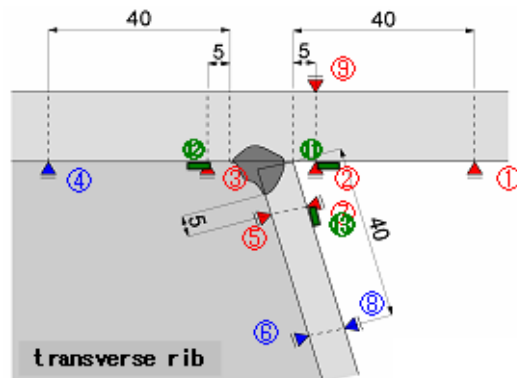


図 3.2.53 ゲージ設置箇所

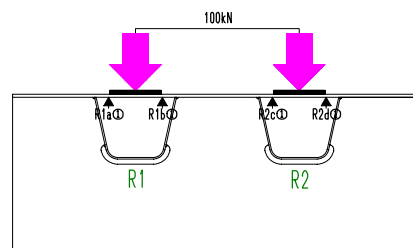
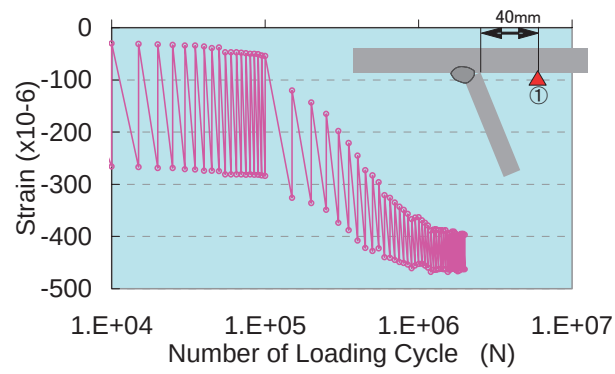
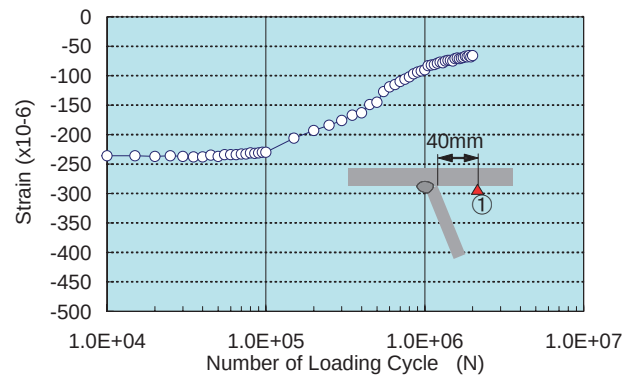


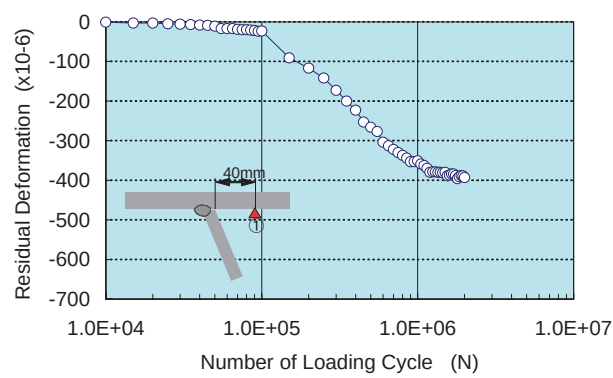
図 3.2.54 対象溶接継手毎のゲージ記号の区別の例



(a) ひずみ波形の例



(b) ひずみ振幅の例

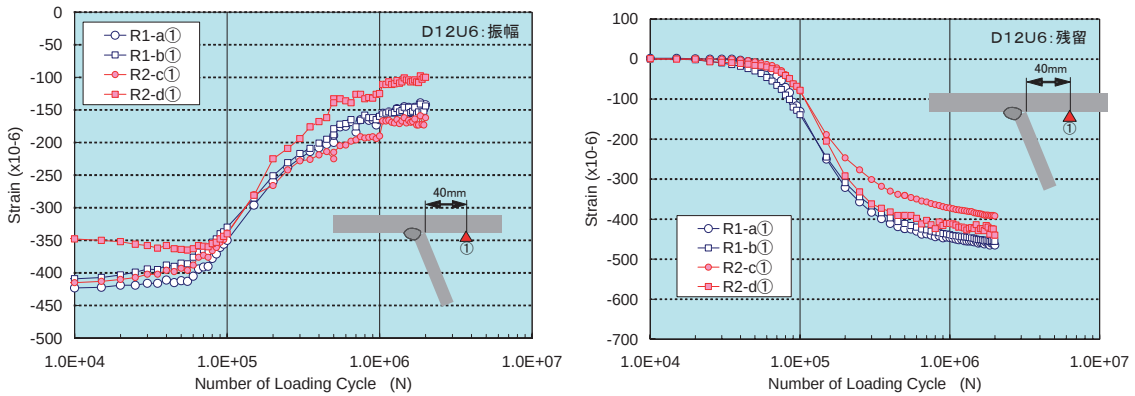


(c) 残留ひずみ

図 3.2.55 各載荷回数段階毎の静的載荷時計測結果の例（計測点①）

(2) D12U6

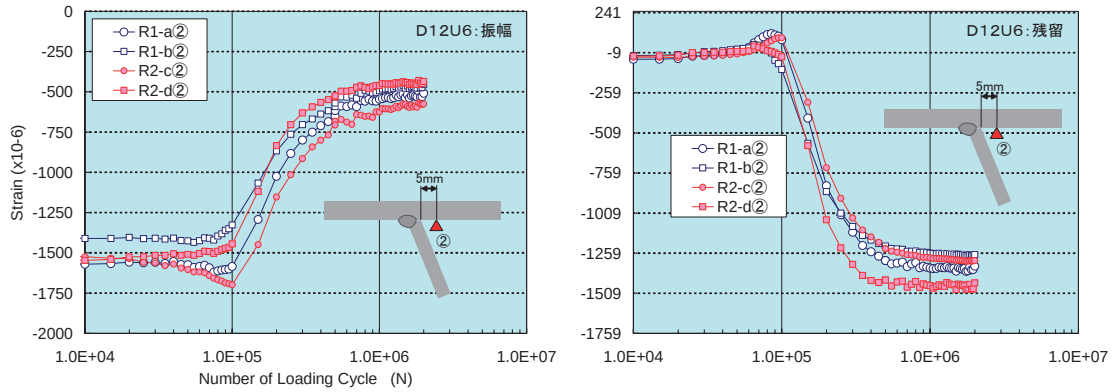
図 3.2.56～65 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

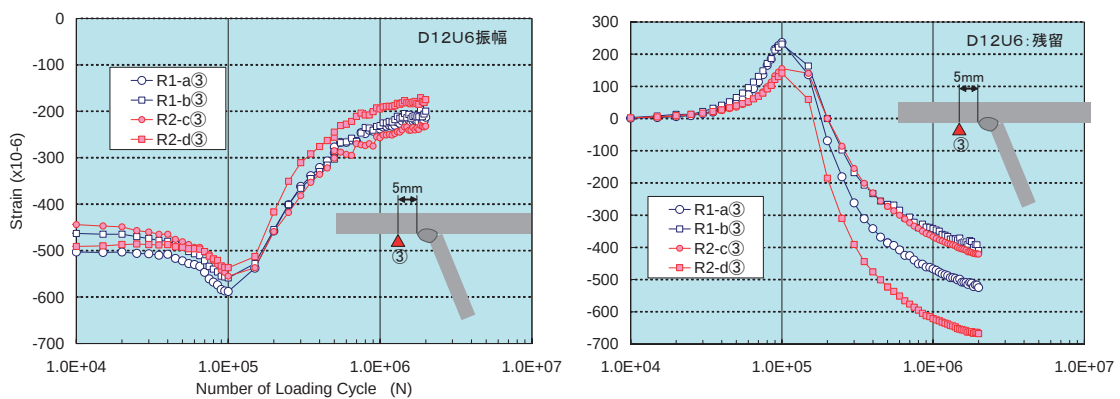
図 3.2.56 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

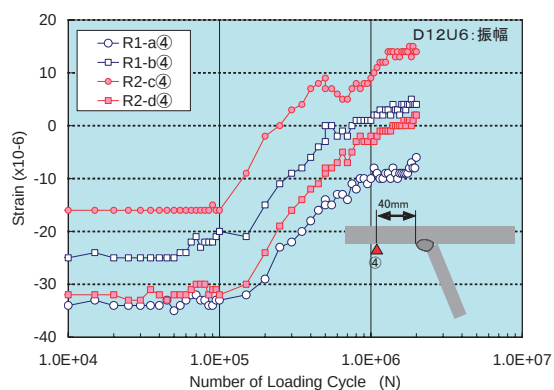
図 3.2.57 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



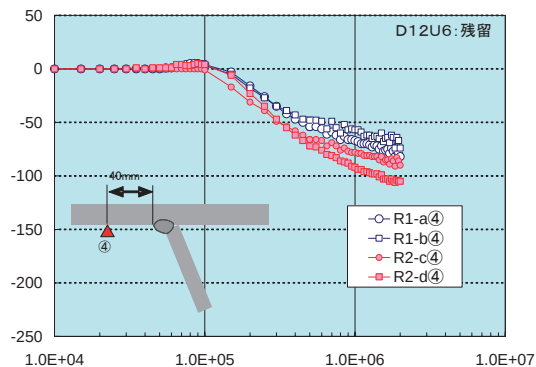
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.58 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

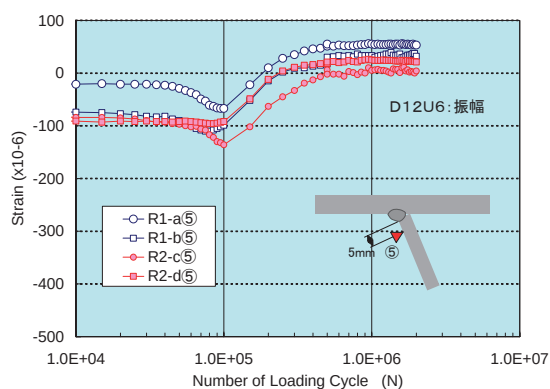


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

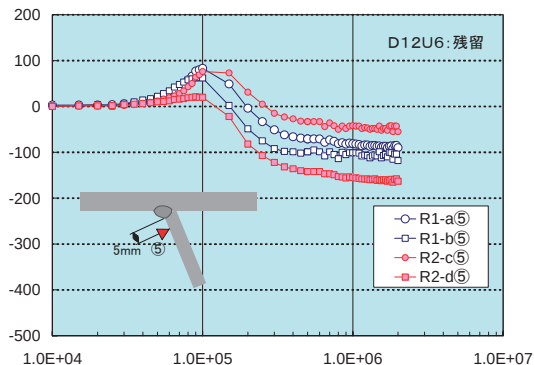


(b) 残留ひずみ

図 3.2.59 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

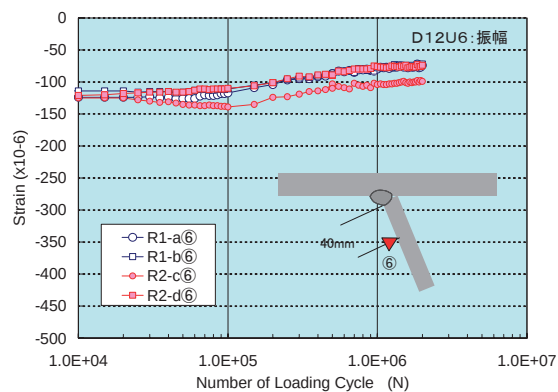


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

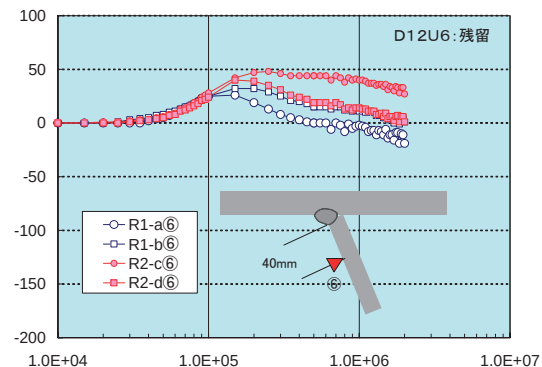


(b) 残留ひずみ

図 3.2.60 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

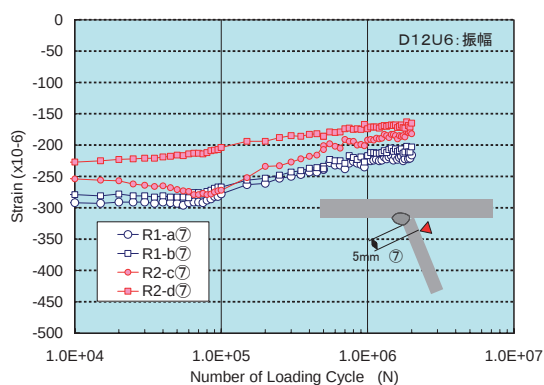


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

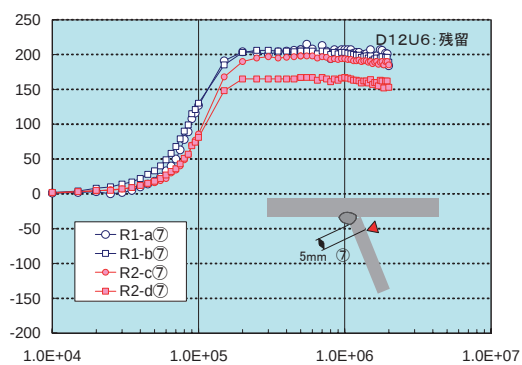


(b) 残留ひずみ

図 3.2.61 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

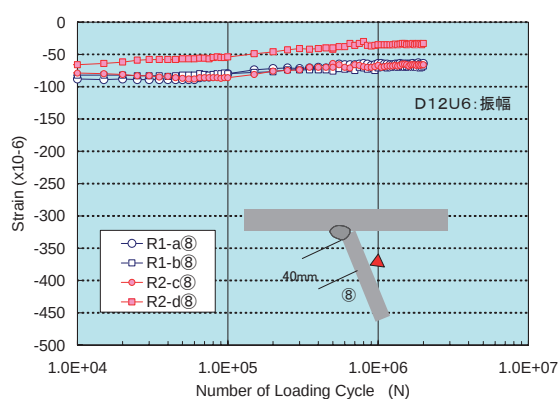


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

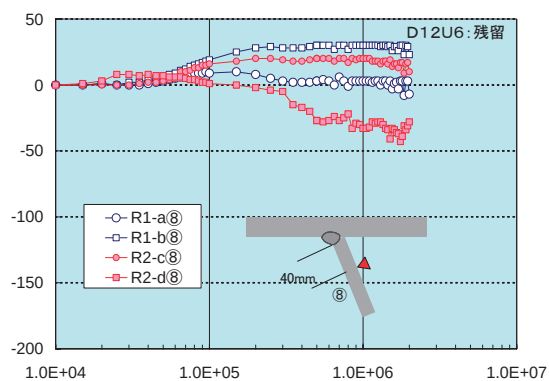


(b) 残留ひずみ

図 3.2.62 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

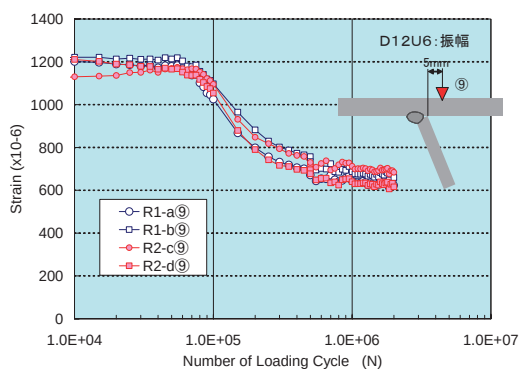


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

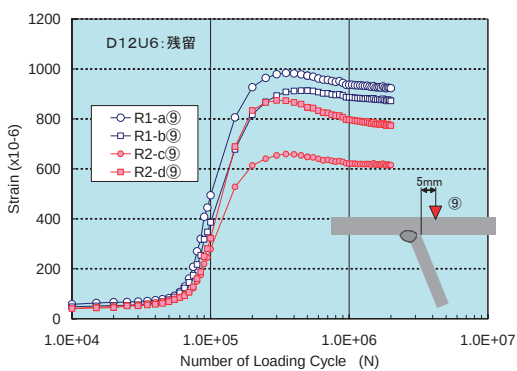


(b) 残留ひずみ

図 3.2.63 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.64 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

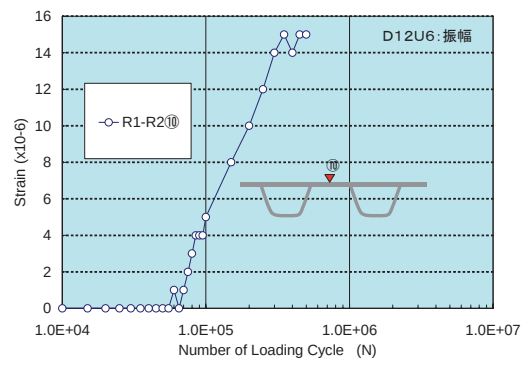


図 3.2.65 計測点⑩（デッキ-上面-R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

(3) D12U8

図 3.2.66～75 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。

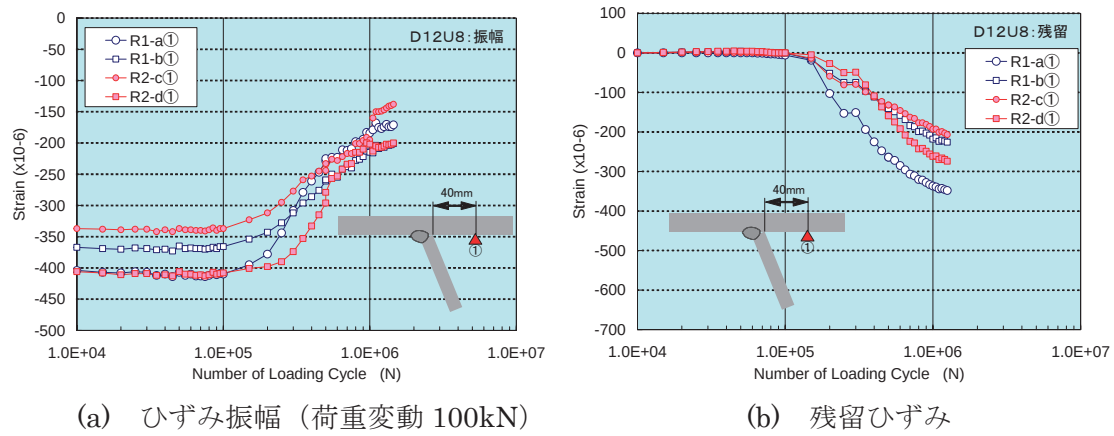


図 3.2.66 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化

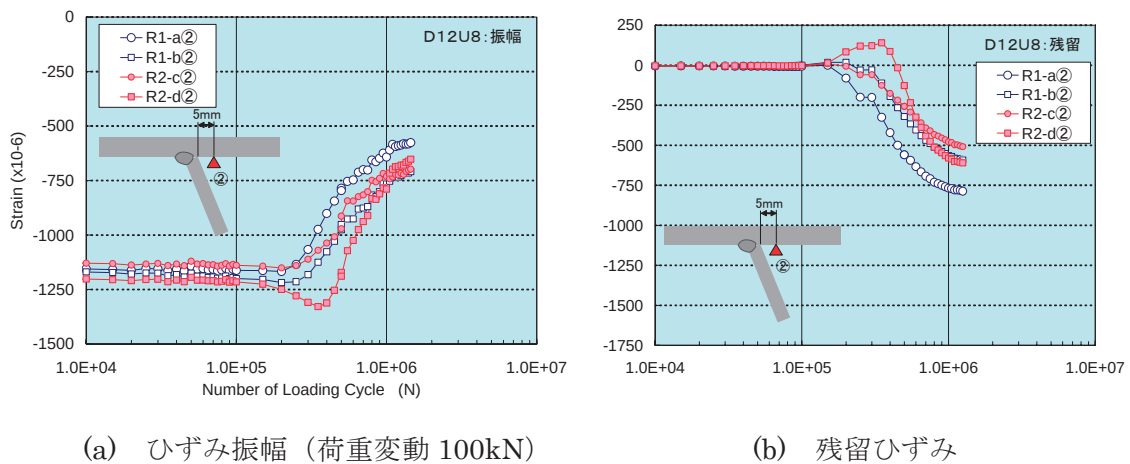


図 3.2.67 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

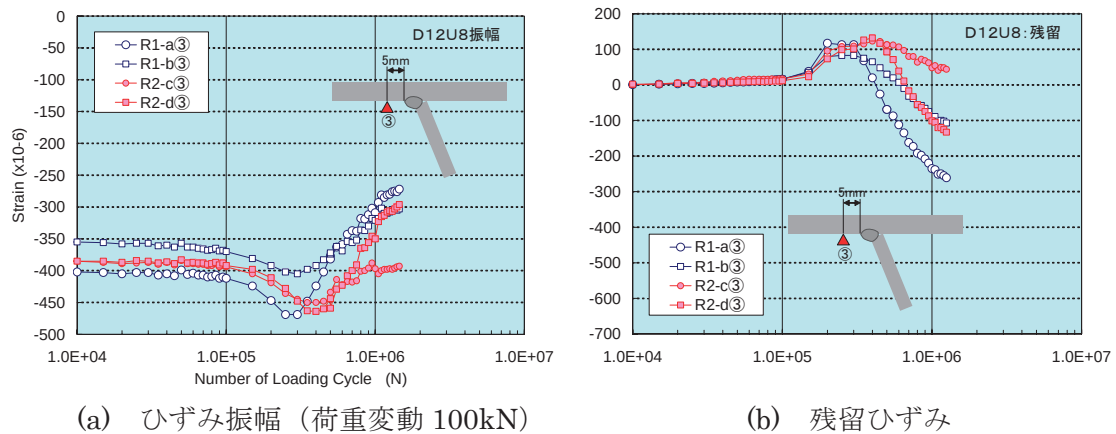
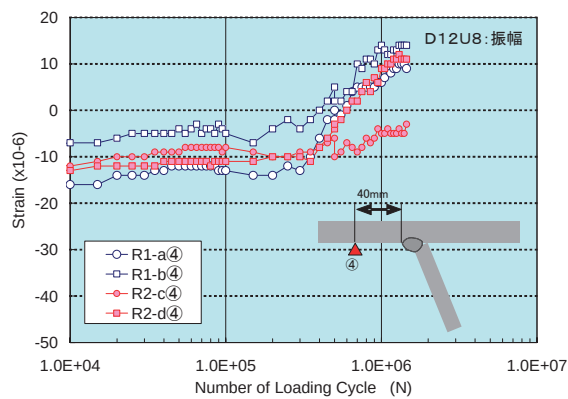
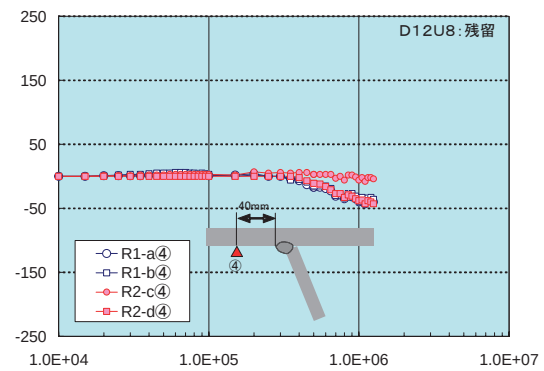


図 3.2.68 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

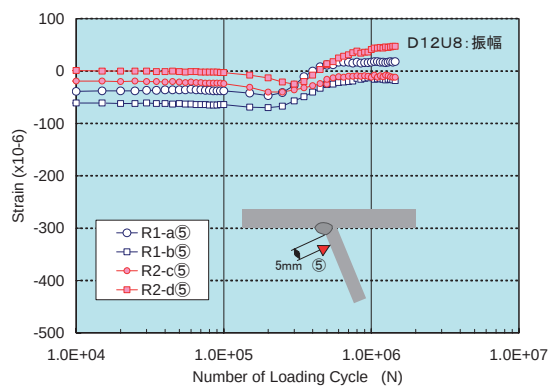


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

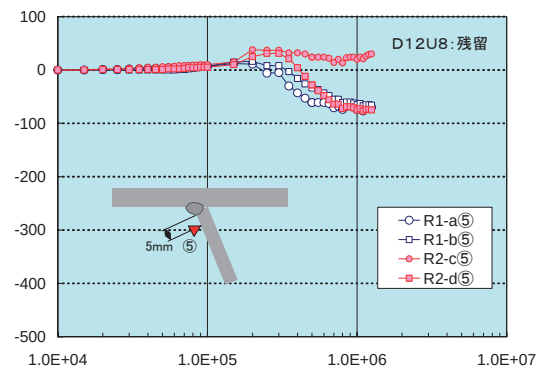


(b) 残留ひずみ

図 3.2.69 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

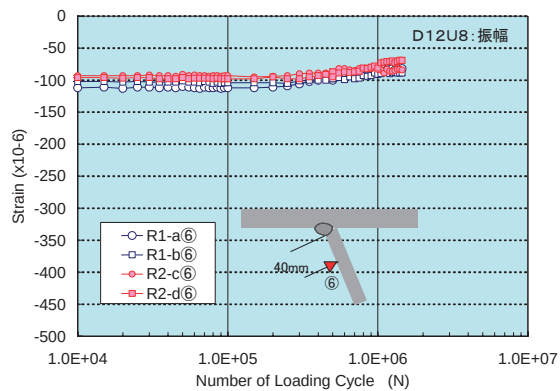


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

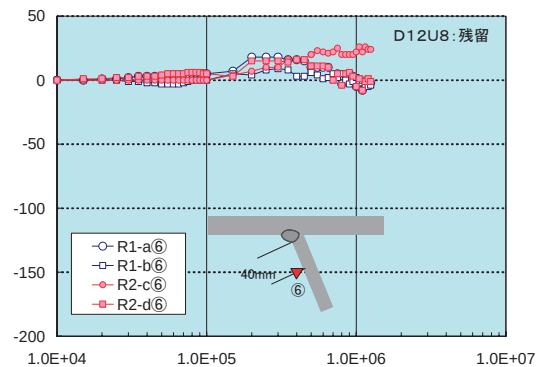


(b) 残留ひずみ

図 3.2.70 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

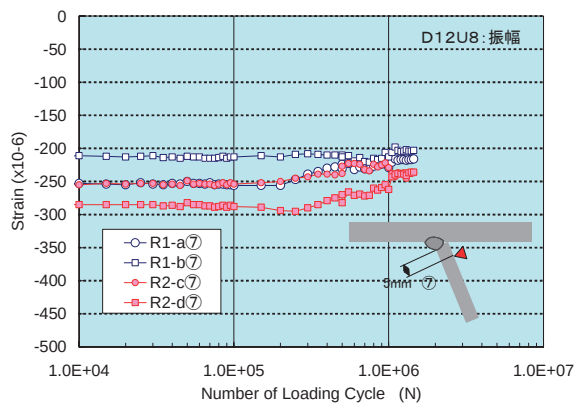


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

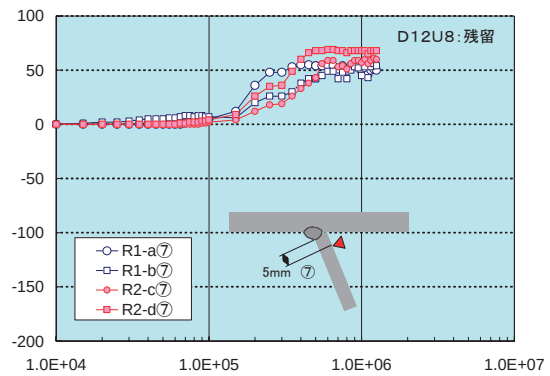


(b) 残留ひずみ

図 3.2.71 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

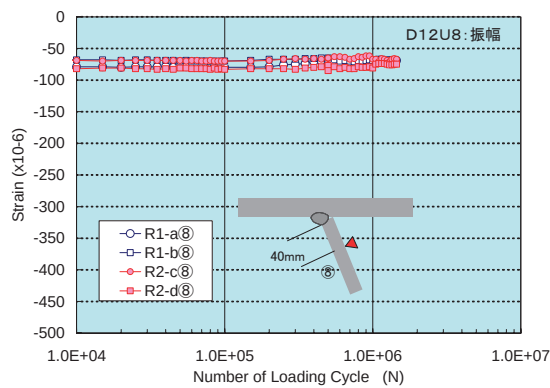


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

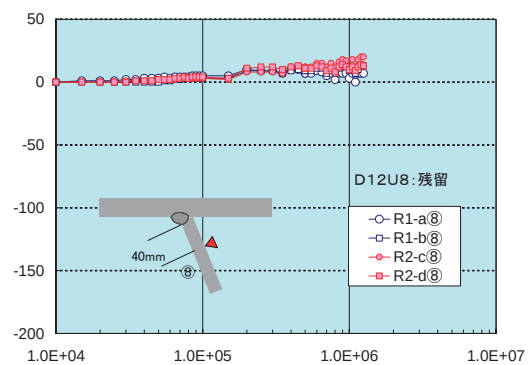


(b) 残留ひずみ

図 3.2.72 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

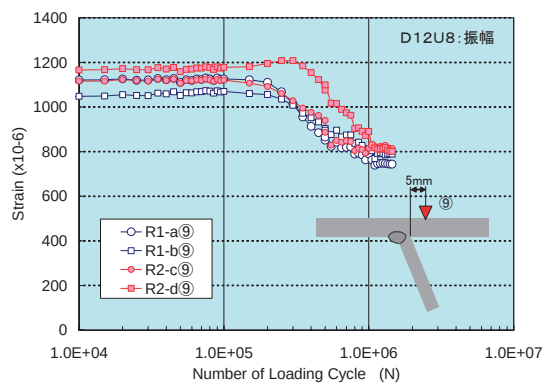


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

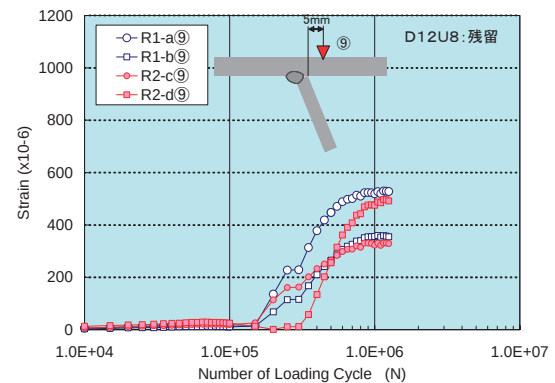


(b) 残留ひずみ

図 3.2.73 計測点⑧ (トラフ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.74 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

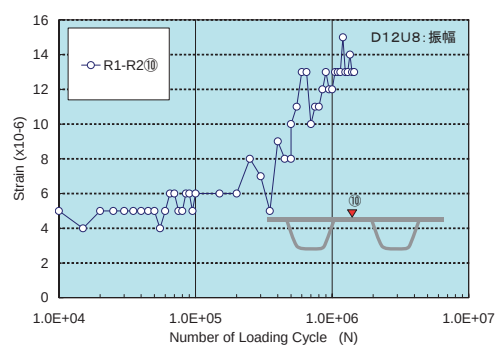
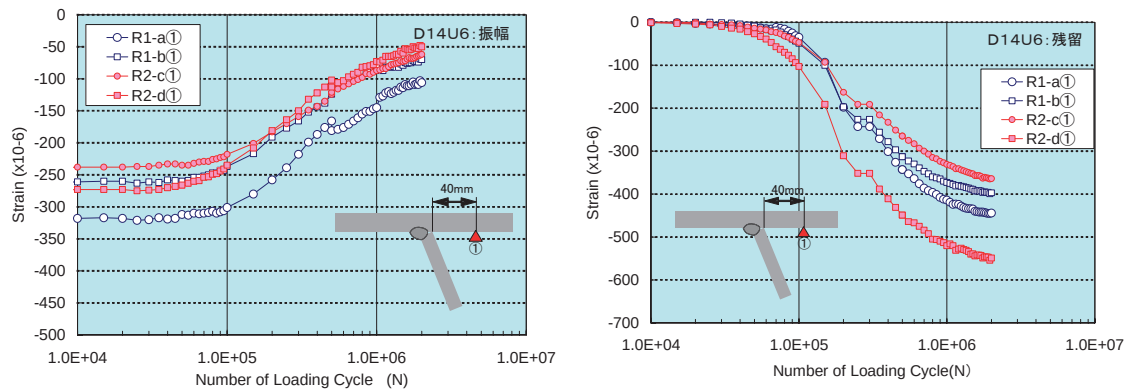


図 3.2.75 計測点⑩（デッキ-上面-R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

(4) D14U6

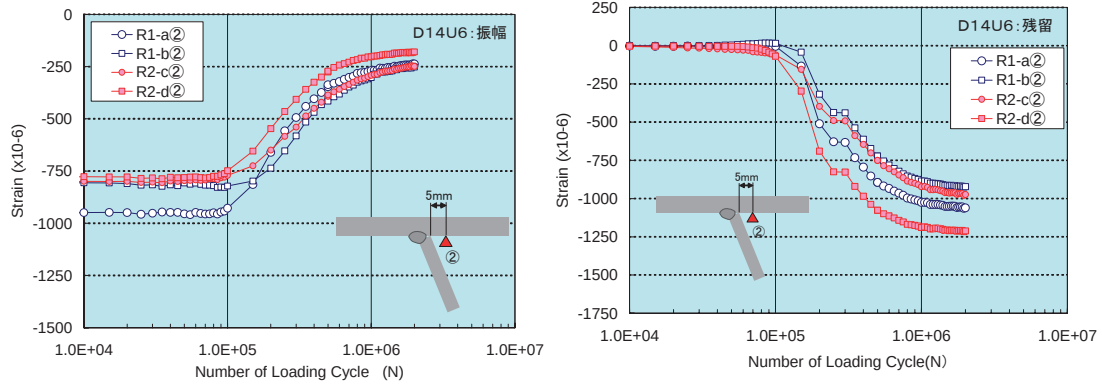
図 3.2.76～88 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

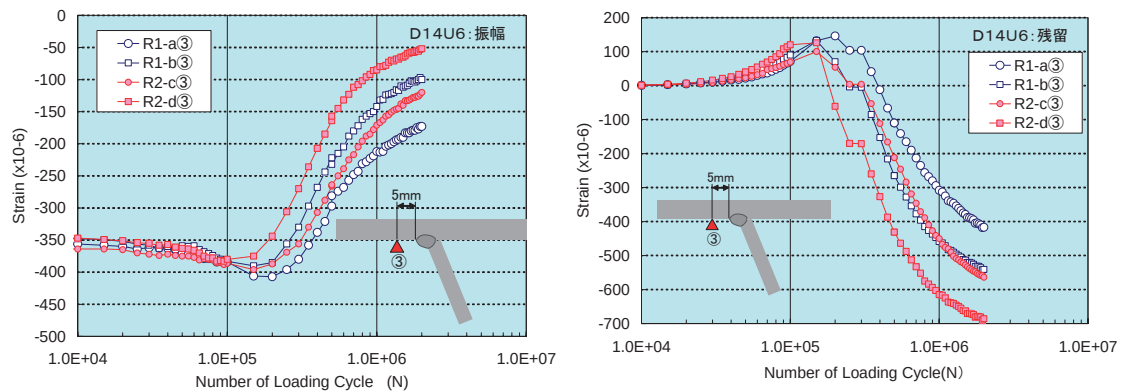
図 3.2.76 計測点① (デッキ・内側・ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

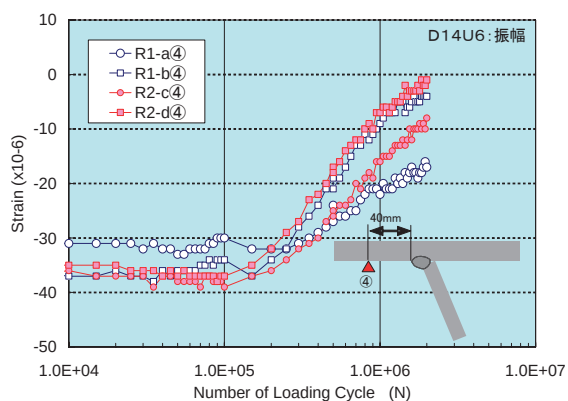
図 3.2.77 計測点② (デッキ・内側・ビードから 5mm) のひずみの変化



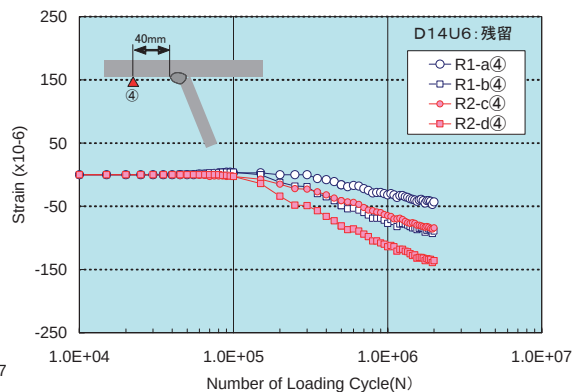
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.78 計測点③ (デッキ・外側・ビードから 5mm) のひずみの変化

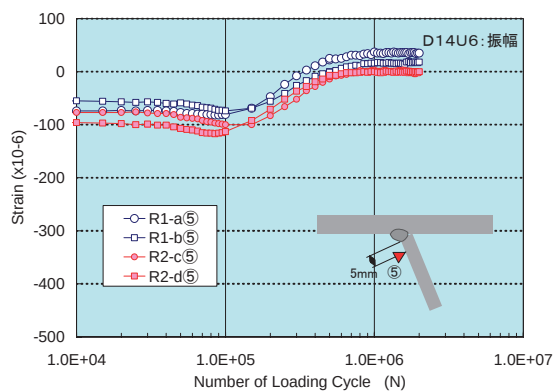


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

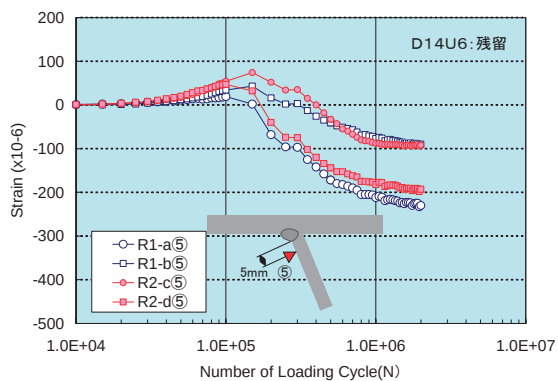


(b) 残留ひずみ

図 3.2.79 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

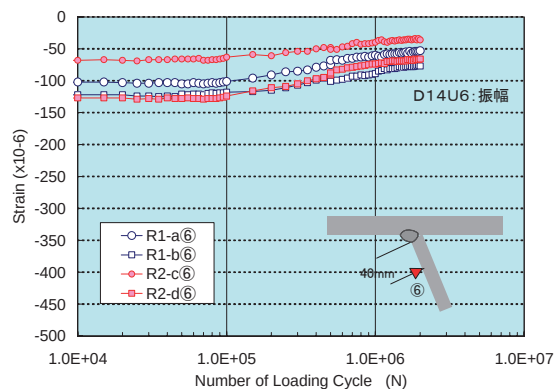


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

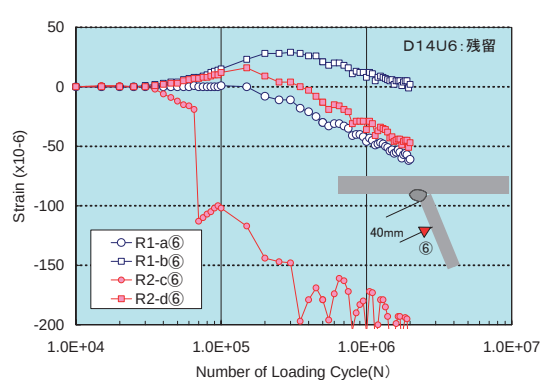


(b) 残留ひずみ

図 3.2.80 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

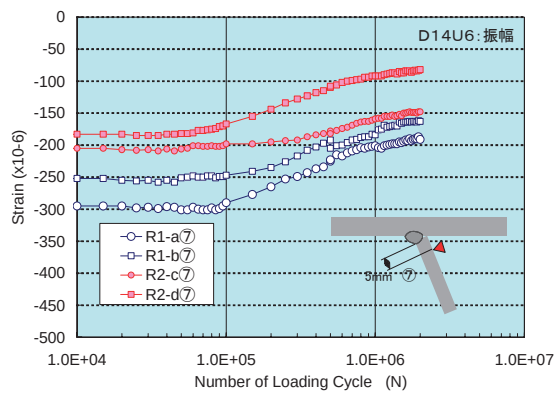


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

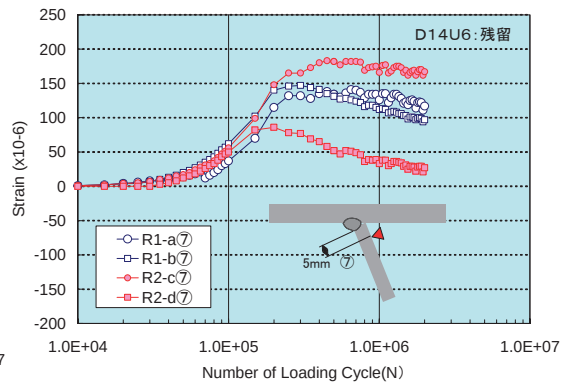


(b) 残留ひずみ

図 3.2.81 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

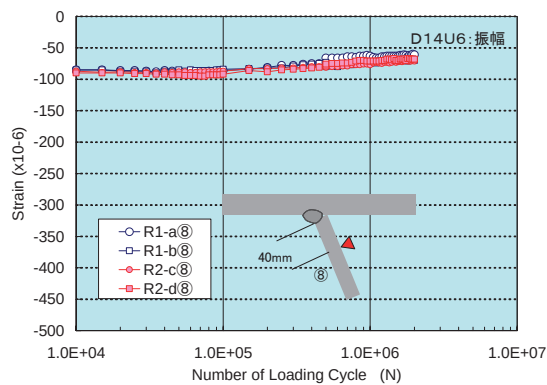


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

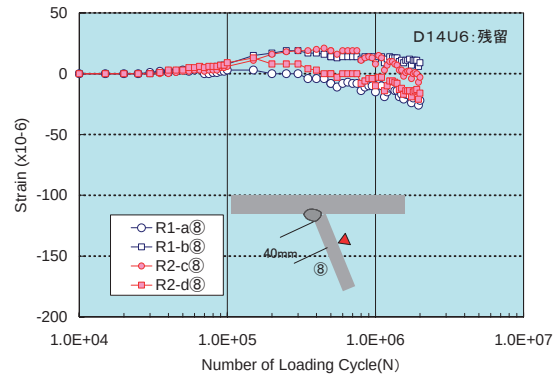


(b) 残留ひずみ

図 3.2.82 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

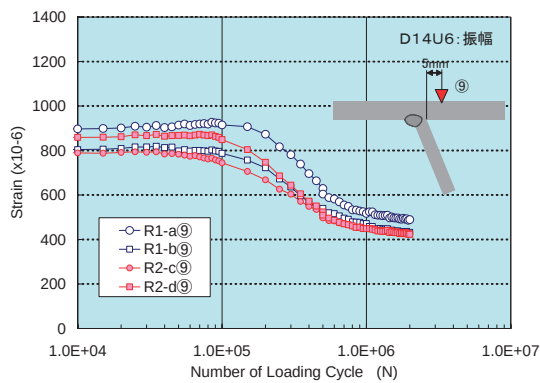


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

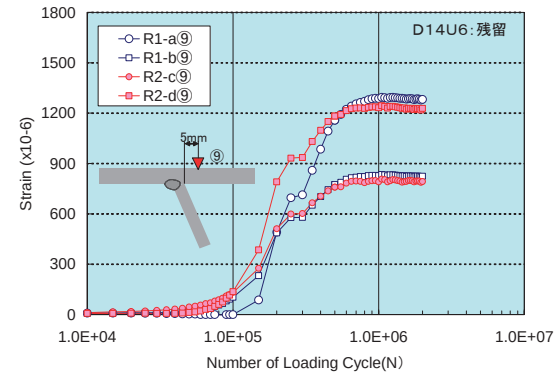


(b) 残留ひずみ

図 3.2.83 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.84 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

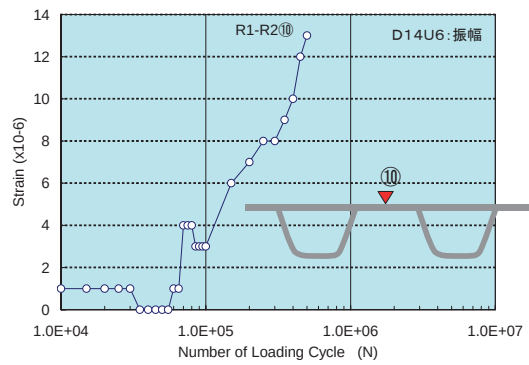
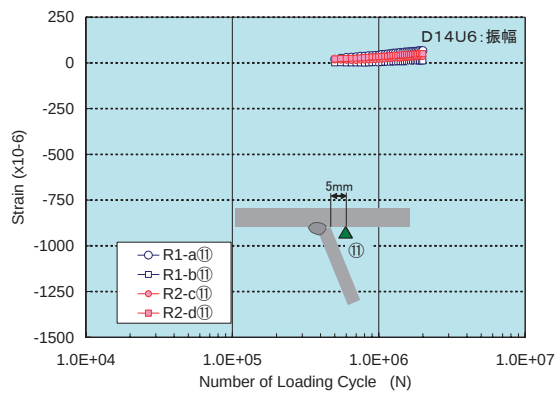
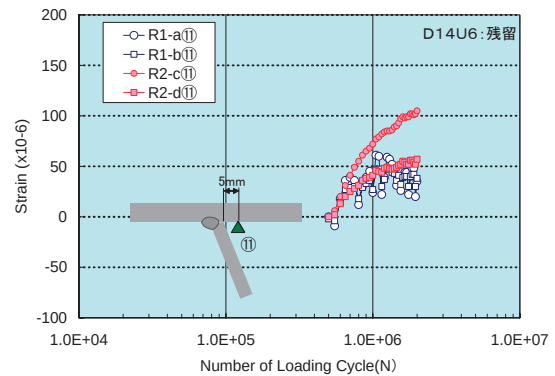


図 3.2.85 計測点⑩（デッキ・上面-R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

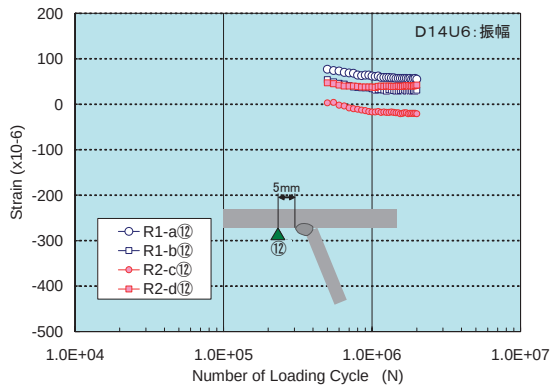


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

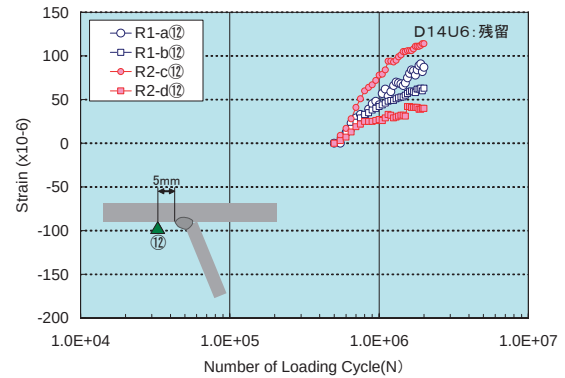


(b) 残留ひずみ

図 3.2.86 計測点⑪（デッキ・内側・ビードから 5mm）の橋軸方向ひずみの変化

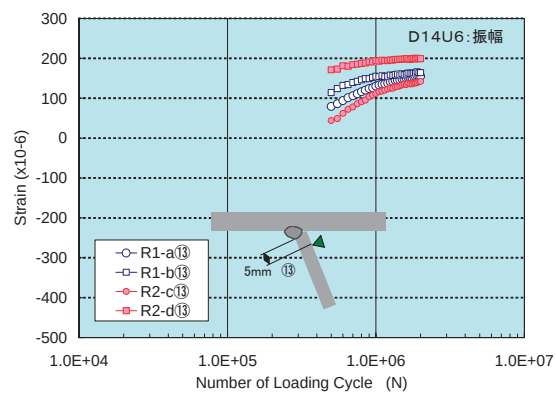


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

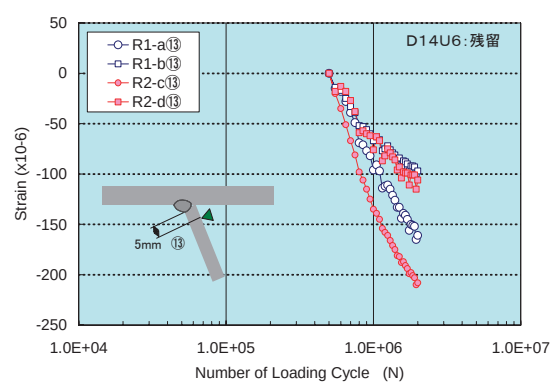


(b) 残留ひずみ

図 3.2.87 計測点⑫（デッキ・外側・ビードから 5mm）の橋軸方向ひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

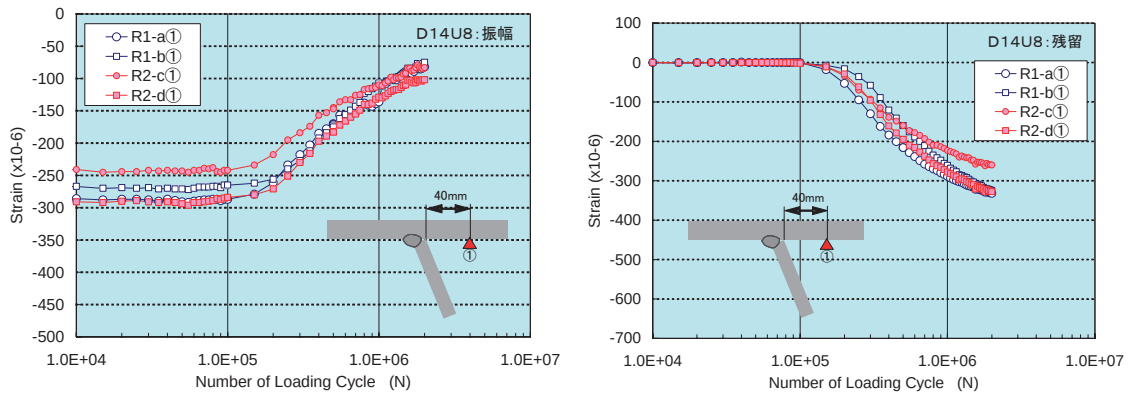


(b) 残留ひずみ

図 3.2.88 計測点⑬ (トラフリブ・内側・ビードから 5mm) の橋軸方向ひずみの変化

(5) D14U8

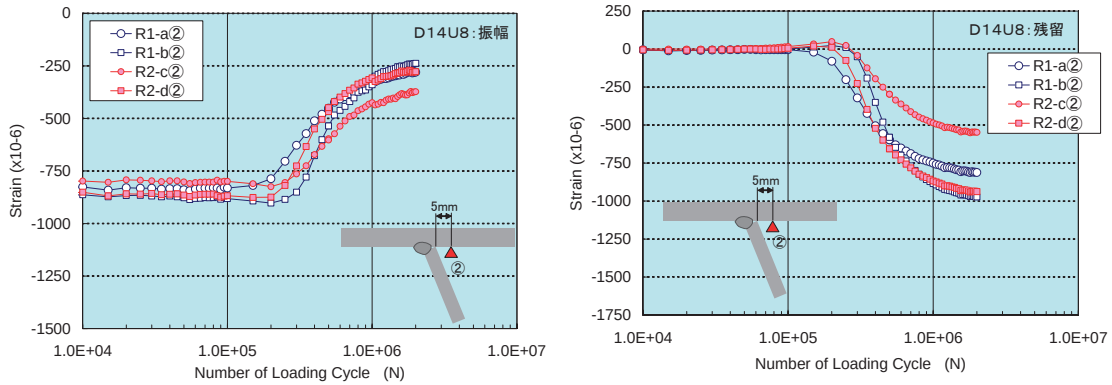
図 3.2.89～101 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

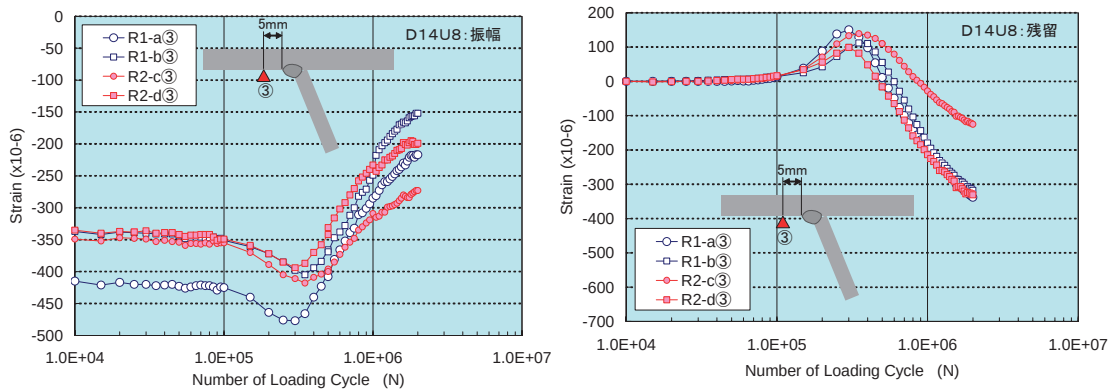
図 3.2.89 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

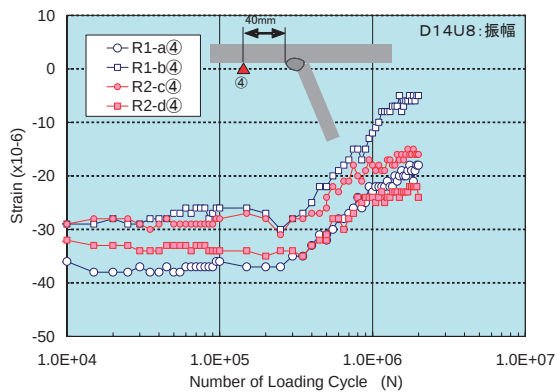
図 3.2.90 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



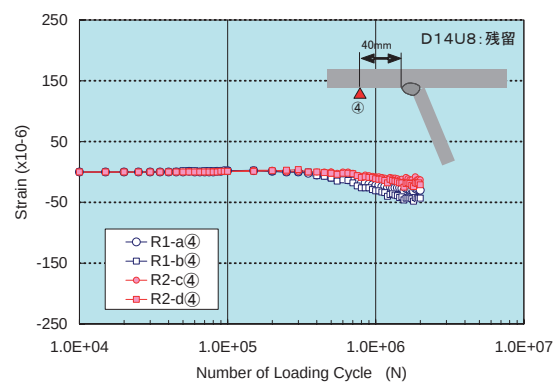
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.91 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

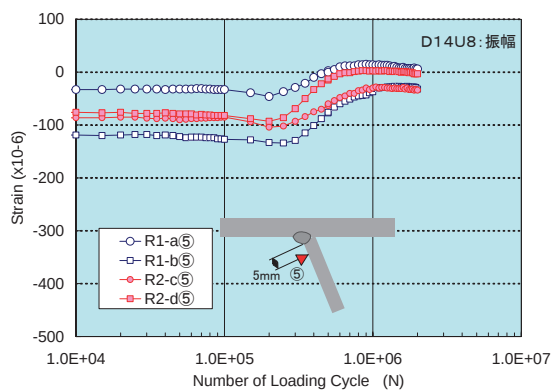


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

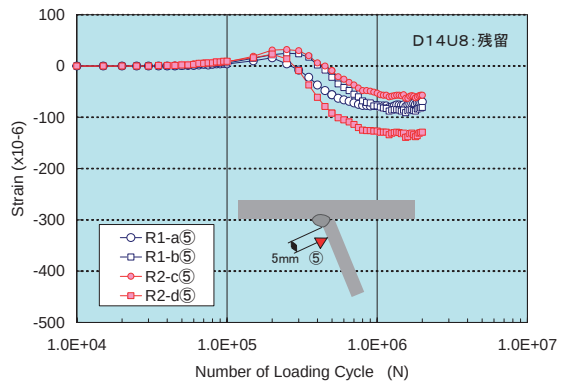


(b) 残留ひずみ

図 3.2.92 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

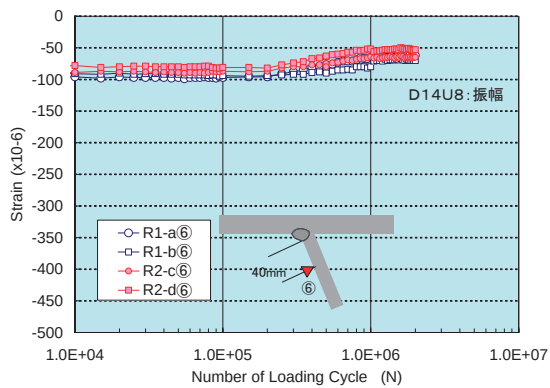


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

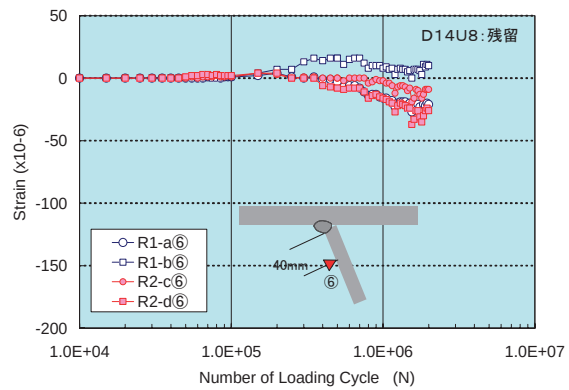


(b) 残留ひずみ

図 3.2.93 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

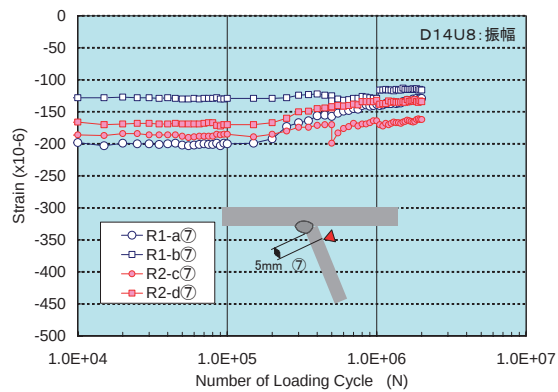


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

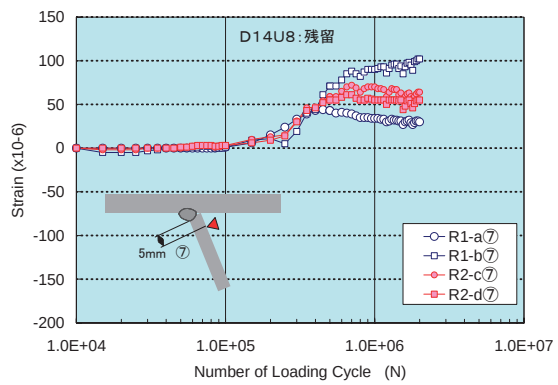


(b) 残留ひずみ

図 3.2.94 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

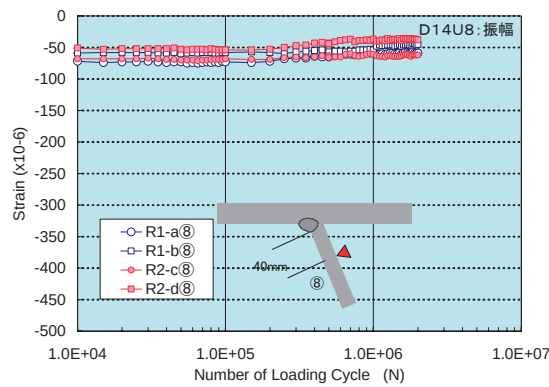


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

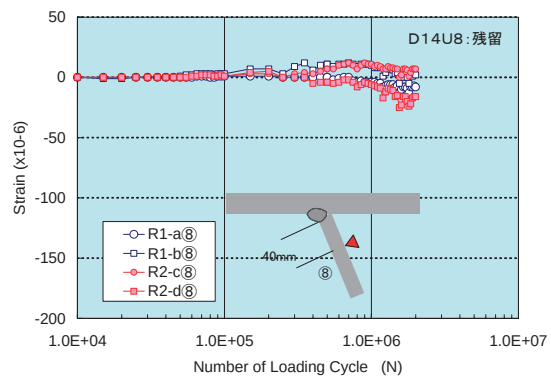


(b) 残留ひずみ

図 3.2.95 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

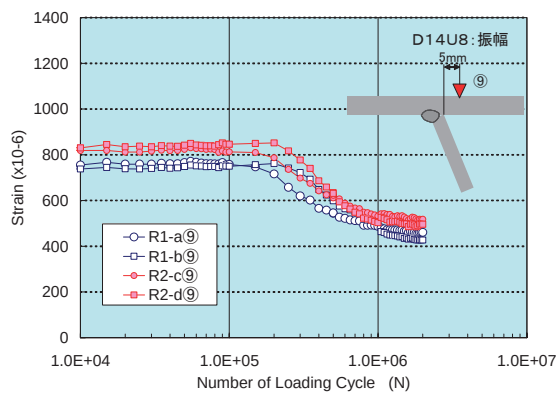


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

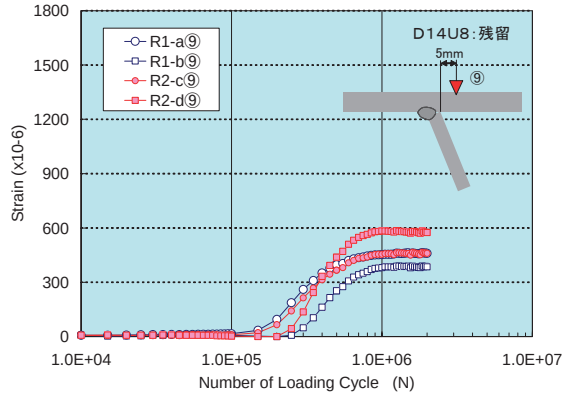


(b) 残留ひずみ

図 3.2.96 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.97 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

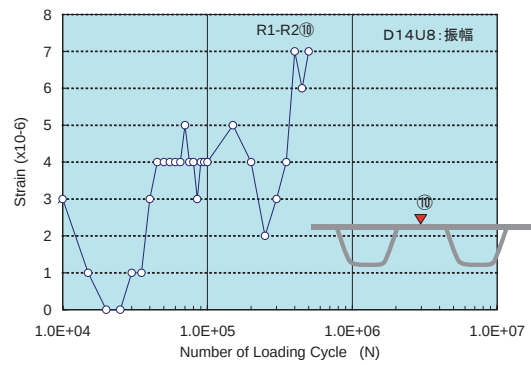
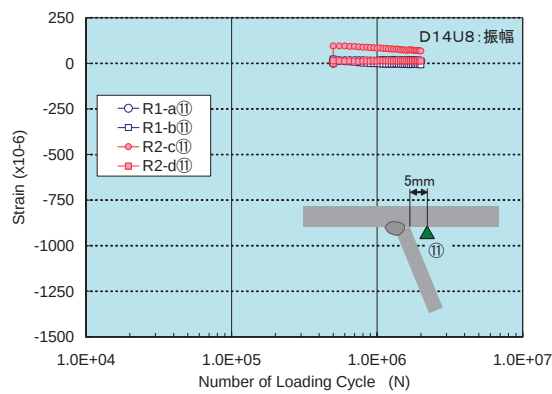
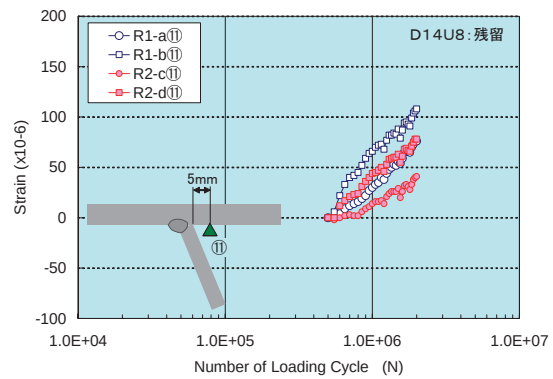


図 3.2.98 計測点⑩（デッキ-上面-R1 と R2 の間）のひずみ振幅の変化（100kN 換算）

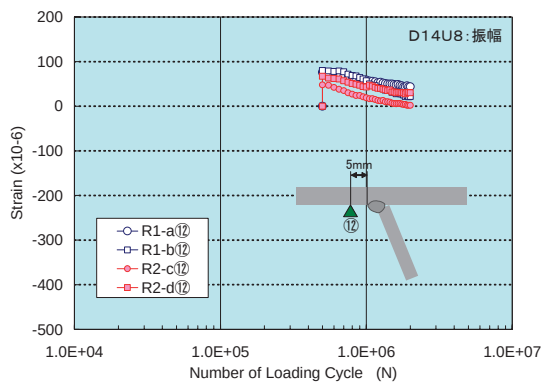


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

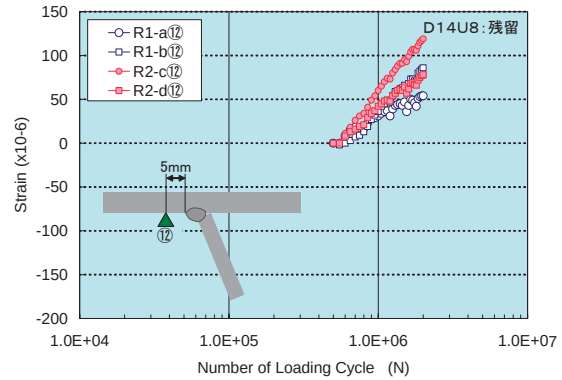


(b) 残留ひずみ

図 3.2.99 計測点⑪（デッキ-内側-ビードから 5mm）の橋軸方向ひずみの変化

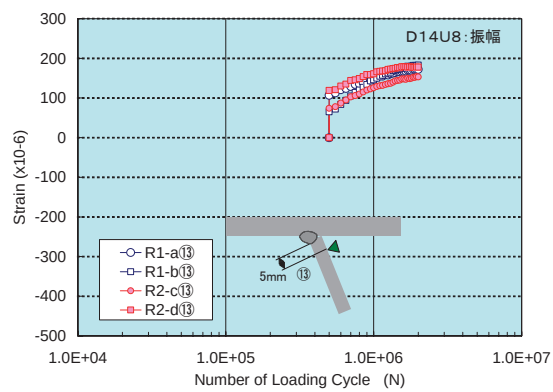


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

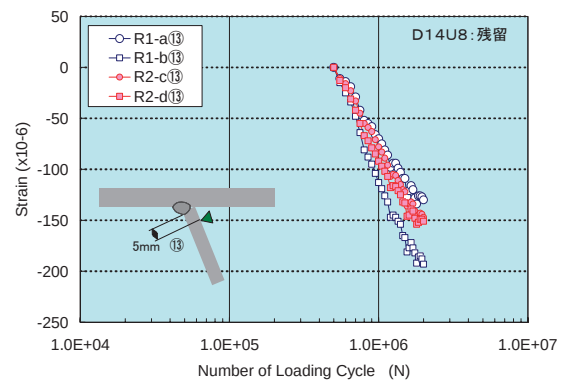


(b) 残留ひずみ

図 3.2.100 計測点⑫（デッキ-外側-ビードから 5mm）の橋軸方向ひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

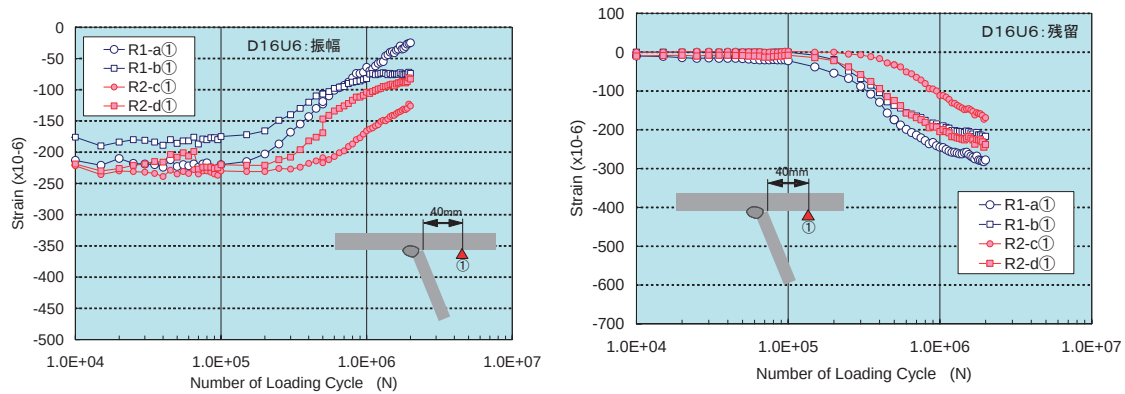


(b) 残留ひずみ

図 3.2.101 計測点⑬ (トラフリブ・内側・ビードから 5mm) の橋軸方向ひずみの変化

(6) D16U6

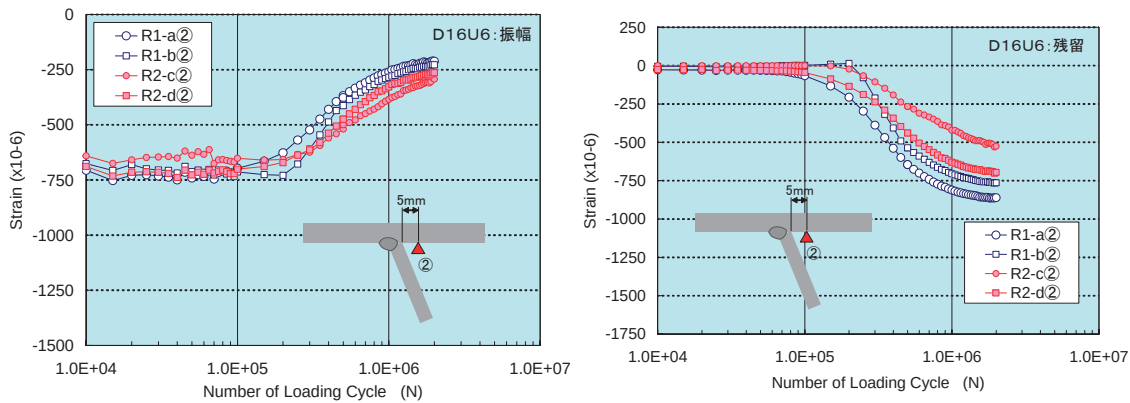
図 3.2.102～114 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

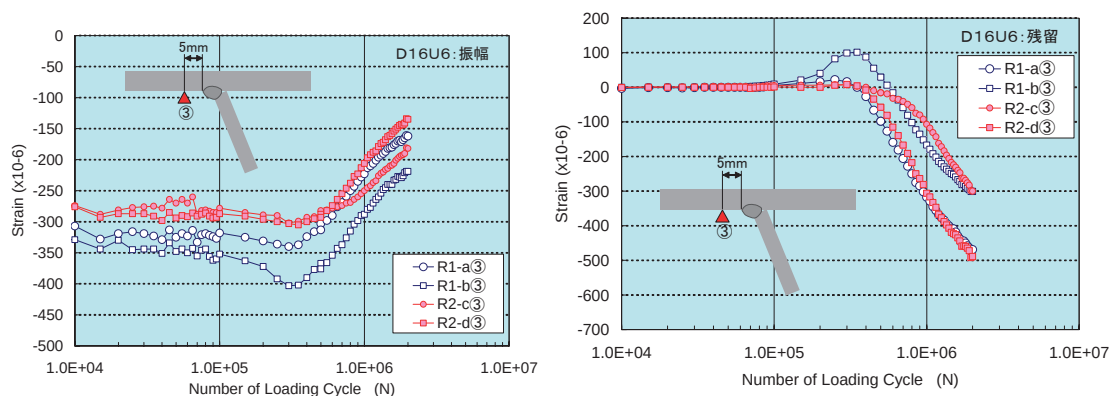
図 3.2.102 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

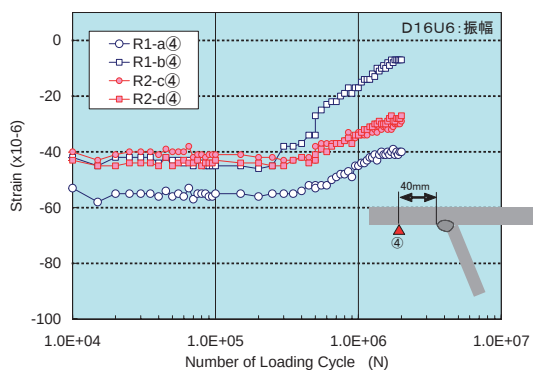
図 3.2.103 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



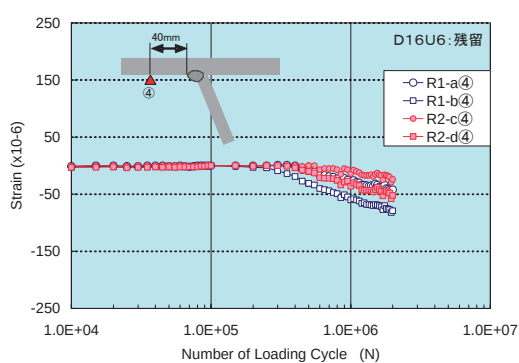
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.104 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

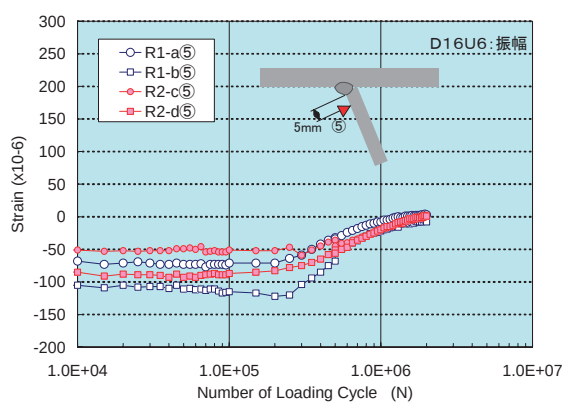


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

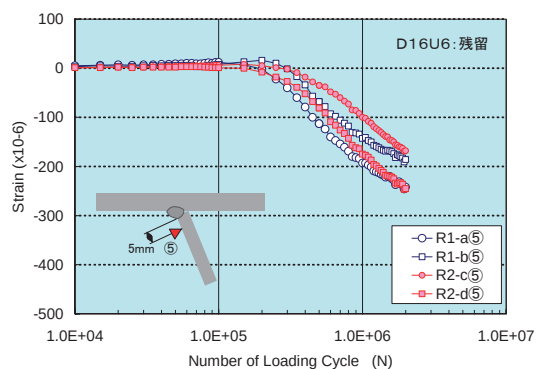


(b) 残留ひずみ

図 3.2.105 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

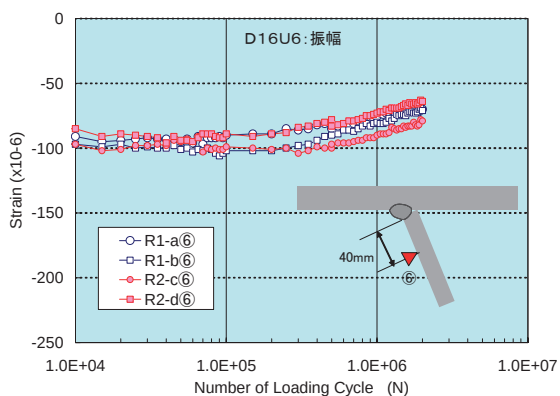


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

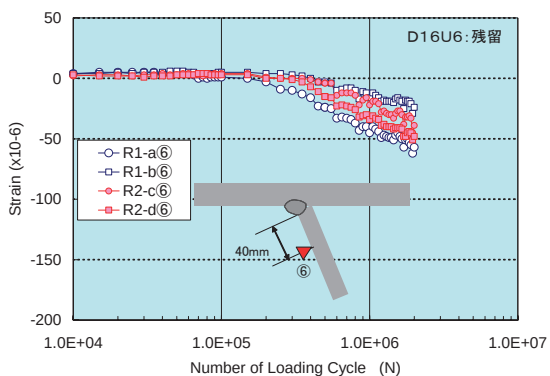


(b) 残留ひずみ

図 3.2.106 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

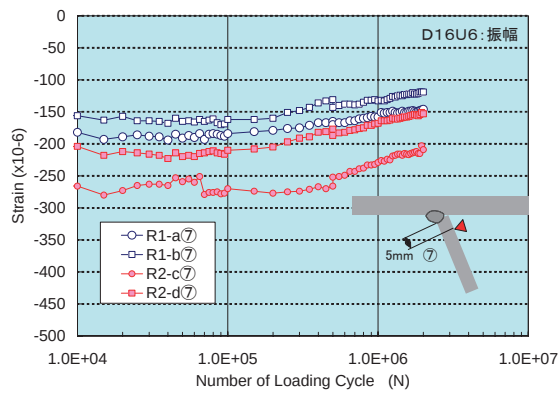


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

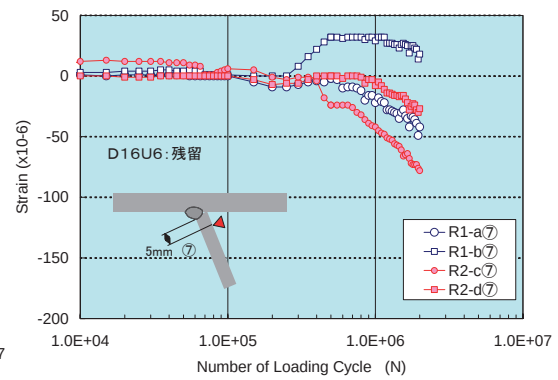


(b) 残留ひずみ

図 3.2.107 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

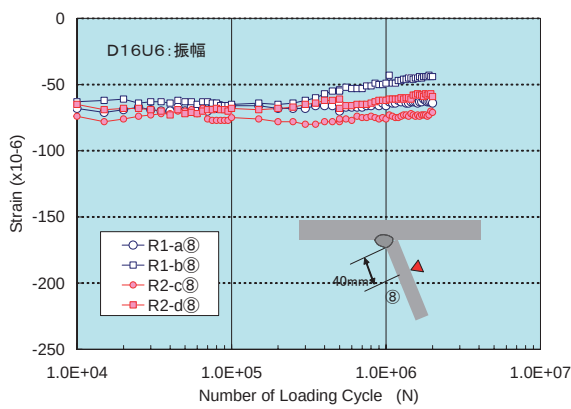


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

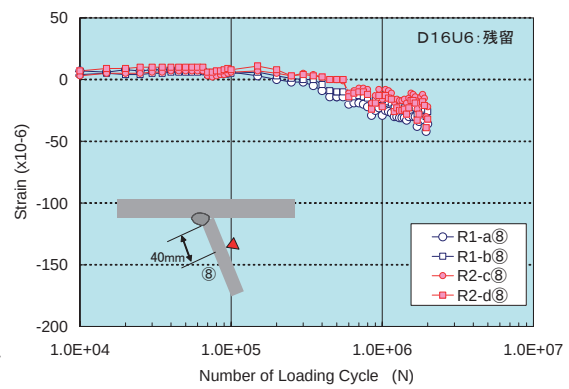


(b) 残留ひずみ

図 3.2.108 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

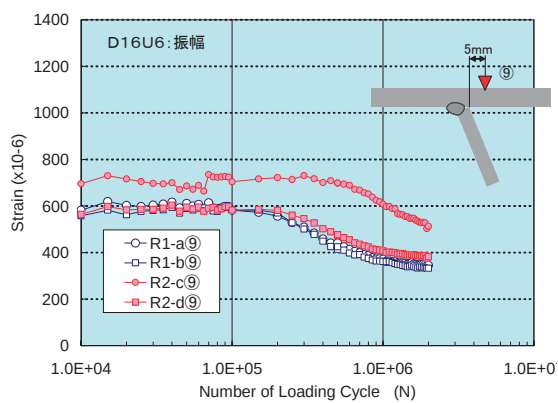


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

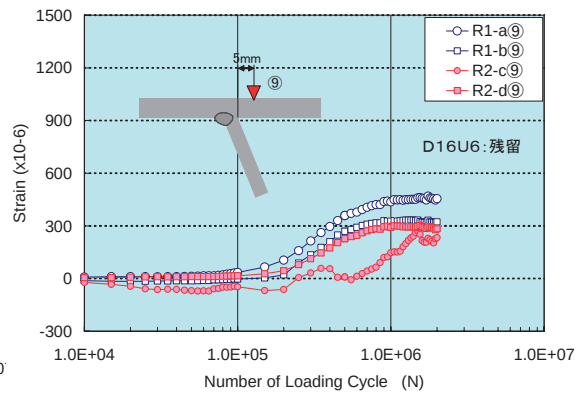


(b) 残留ひずみ

図 3.2.109 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.110 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

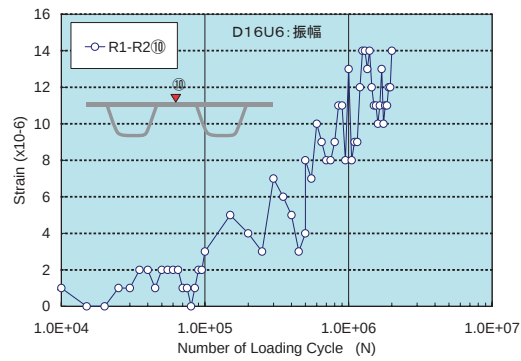
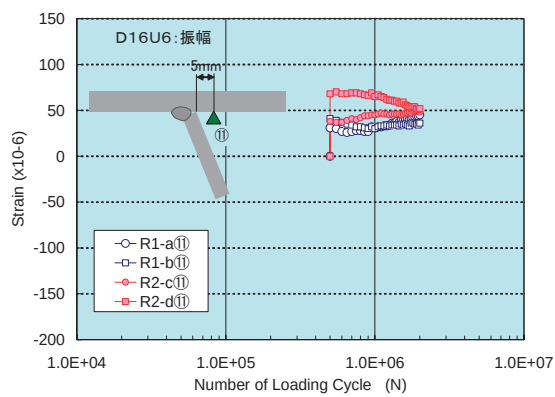
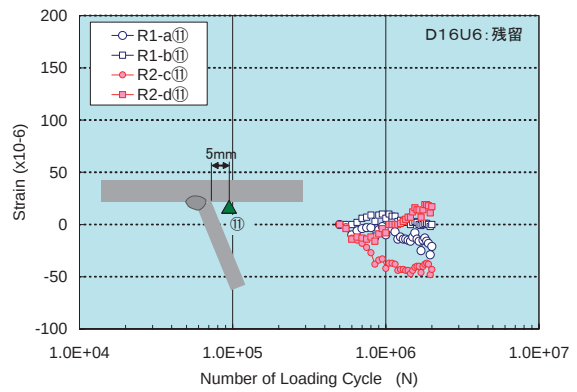


図 3.2.111 計測点⑩（デッキ-上面・R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

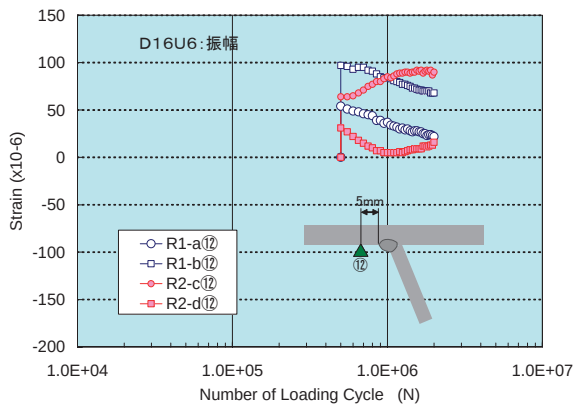


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

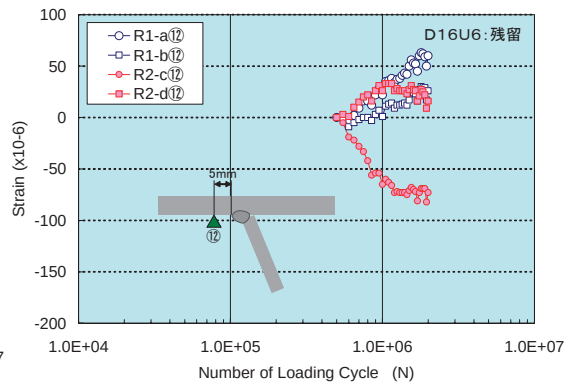


(b) 残留ひずみ

図 3.2.112 計測点⑪（デッキ-内側・ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化

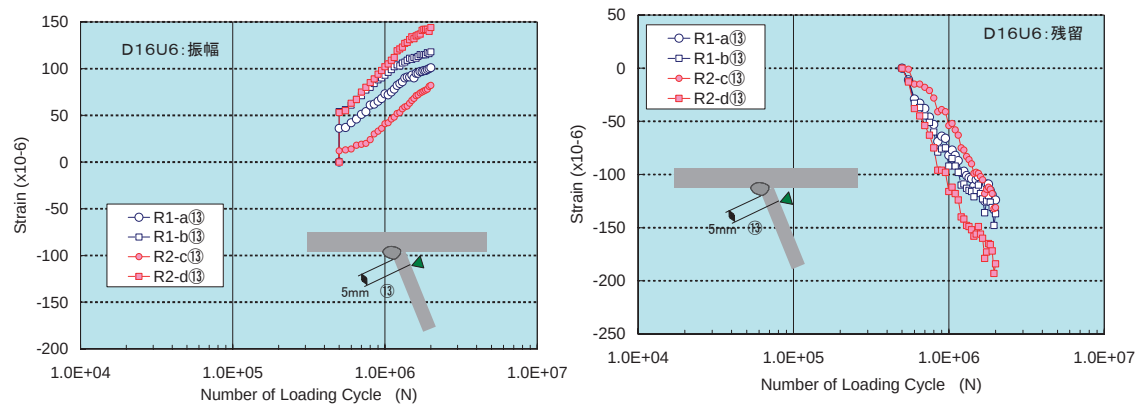


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）



(b) 残留ひずみ

図 3.2.113 計測点⑫（デッキ-外側・ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化



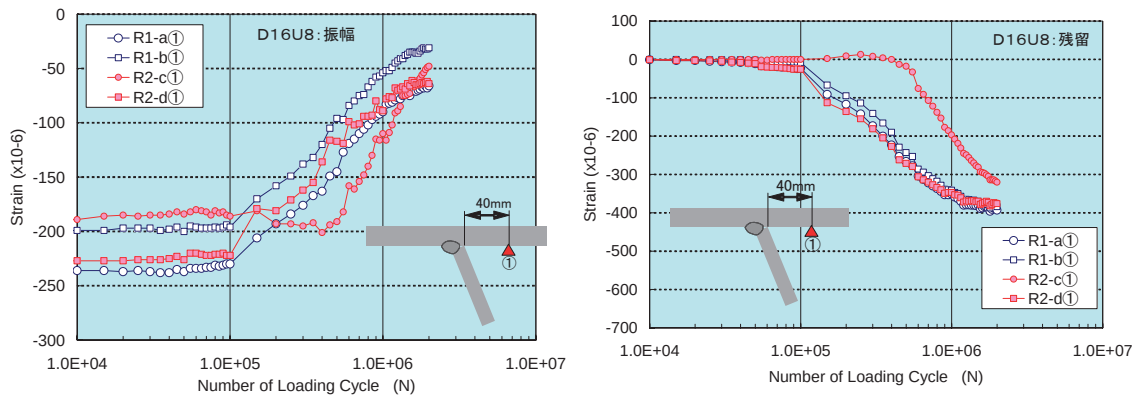
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.114 計測点⑬ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) の橋軸方向のひずみの変化

(7) D16U8

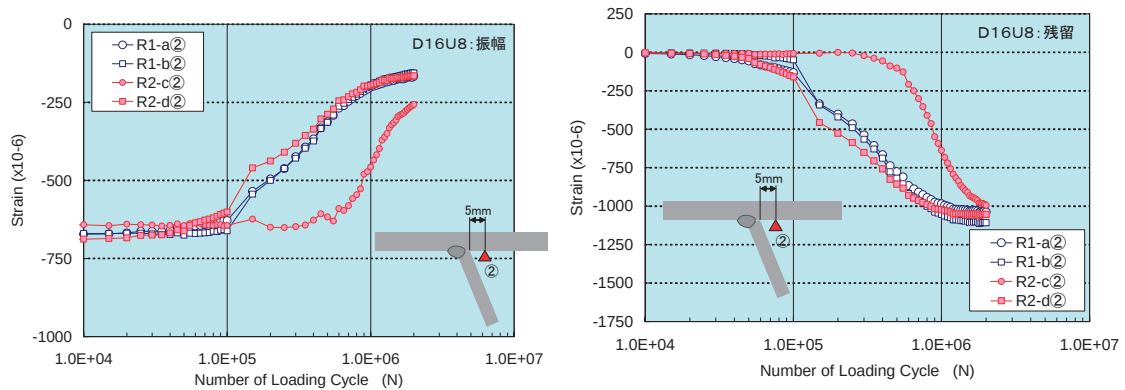
図 3.2.115～127 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

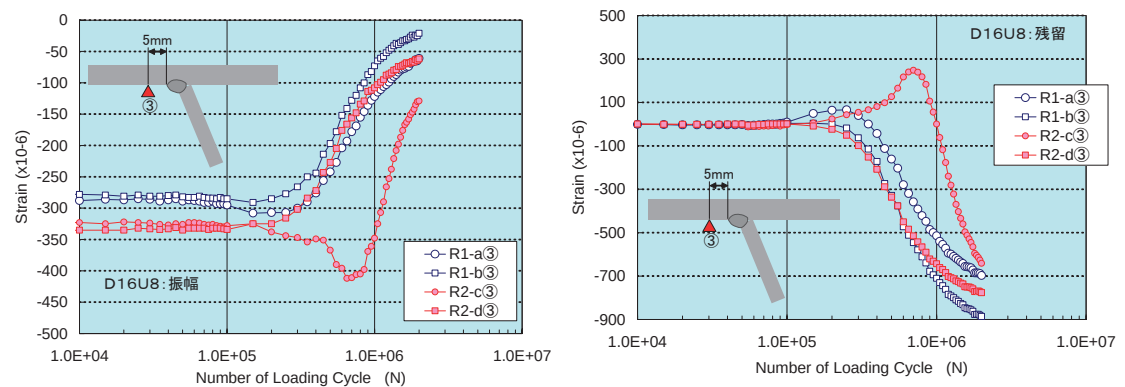
図 3.2.115 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

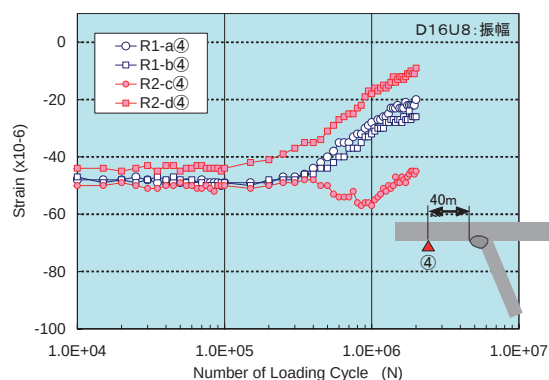
図 3.2.116 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



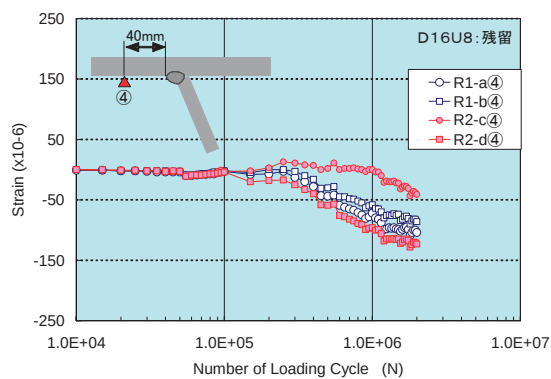
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.117 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

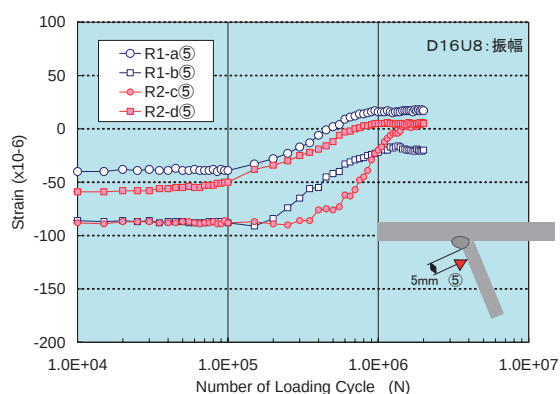


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

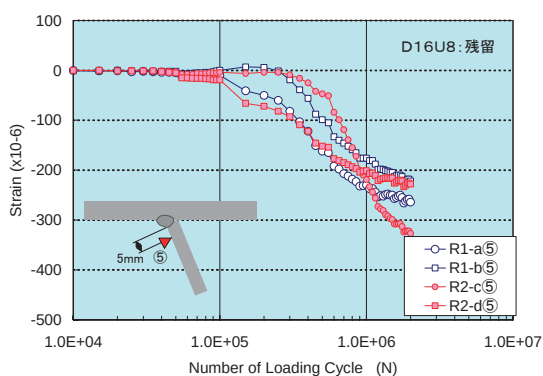


(b) 残留ひずみ

図 3.2.118 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

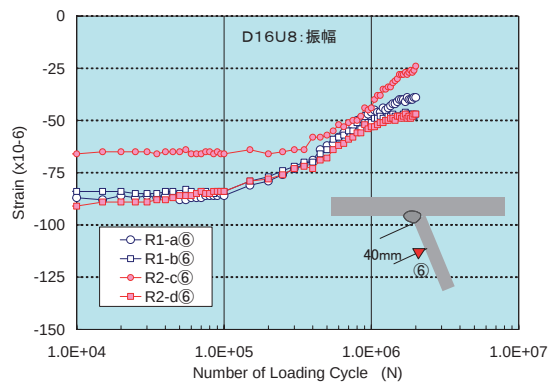


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

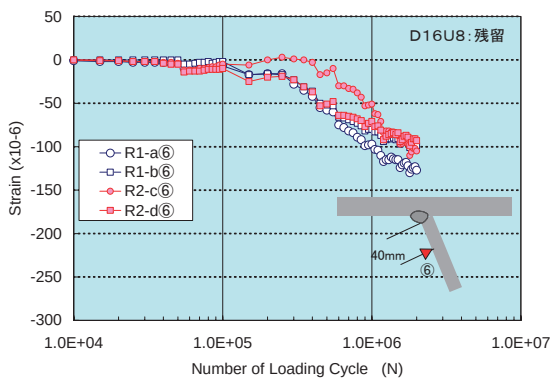


(b) 残留ひずみ

図 3.2.119 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

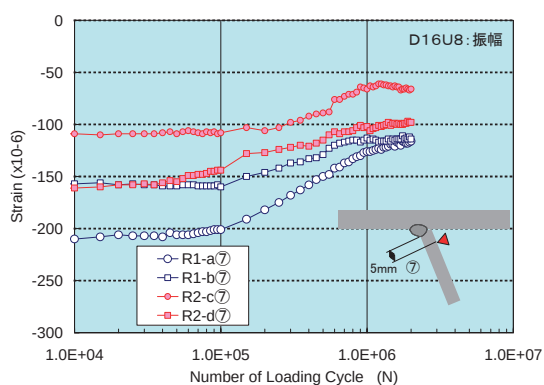


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

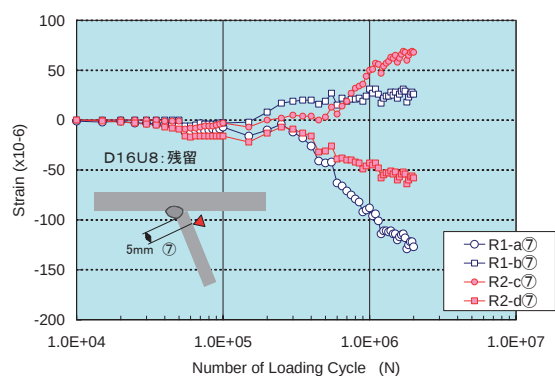


(b) 残留ひずみ

図 3.2.120 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

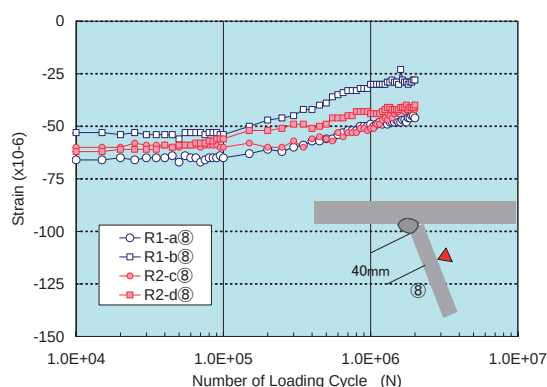


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

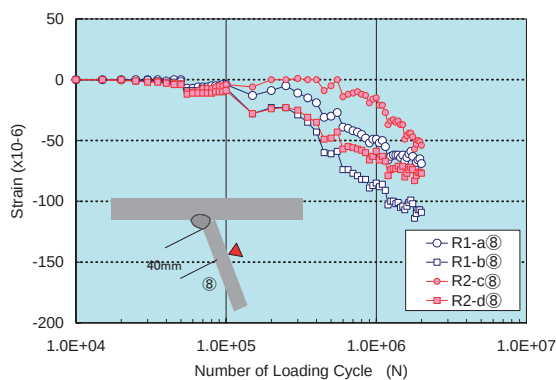


(b) 残留ひずみ

図 3.2.121 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

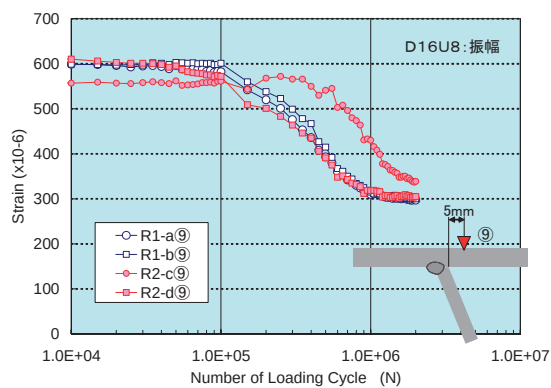


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

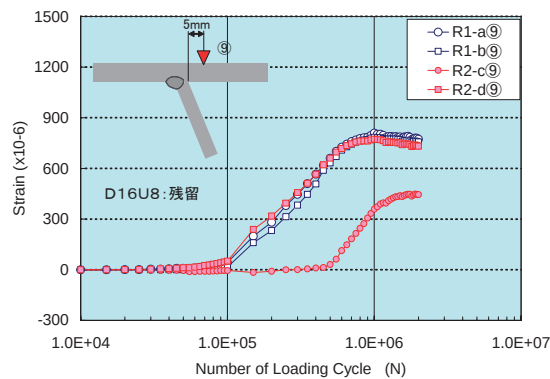


(b) 残留ひずみ

図 3.2.122 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.123 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

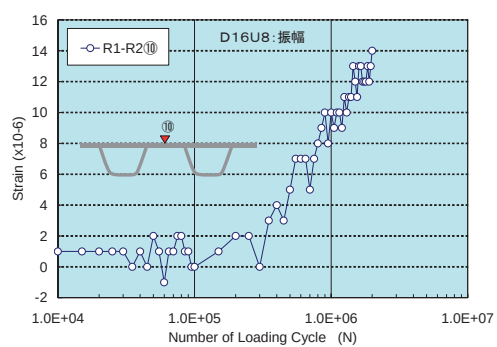
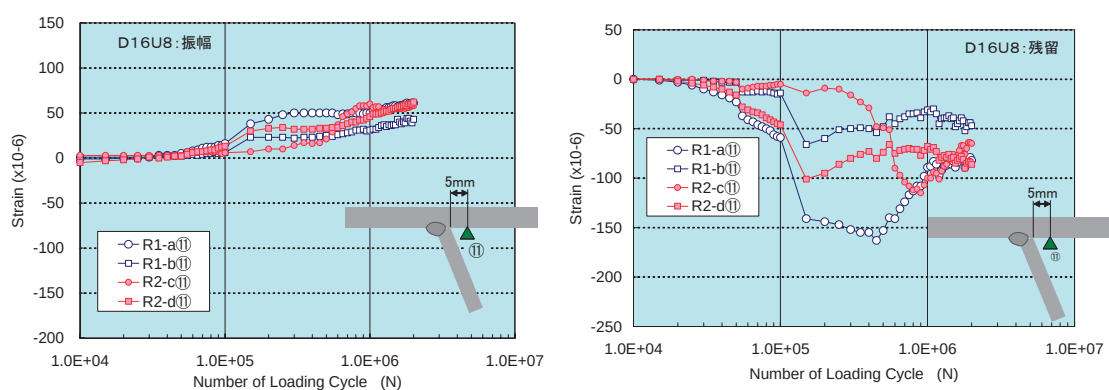


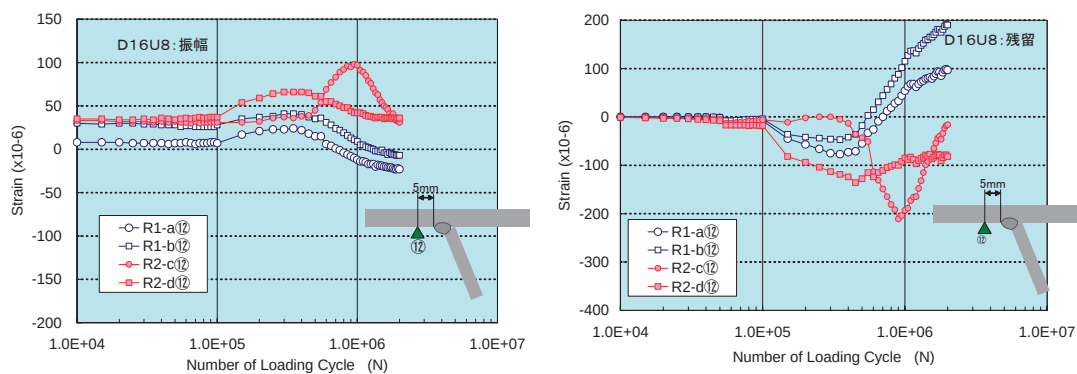
図 3.2.124 計測点⑩（デッキ-上面-R1 と R2 の間(D16U8)）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）



(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

(b) 残留ひずみ

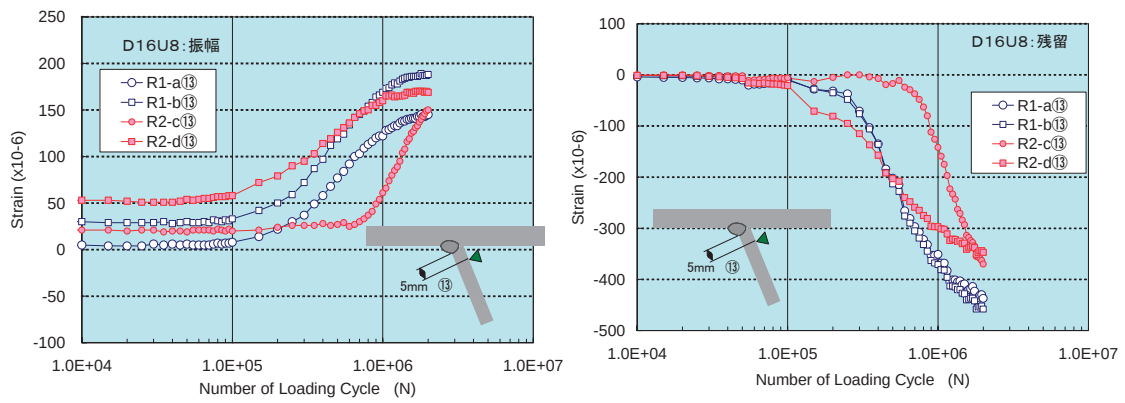
図 3.2.125 計測点⑪（デッキ-内側-ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化



(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

(b) 残留ひずみ

図 3.2.126 計測点⑫（デッキ-外側-ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化



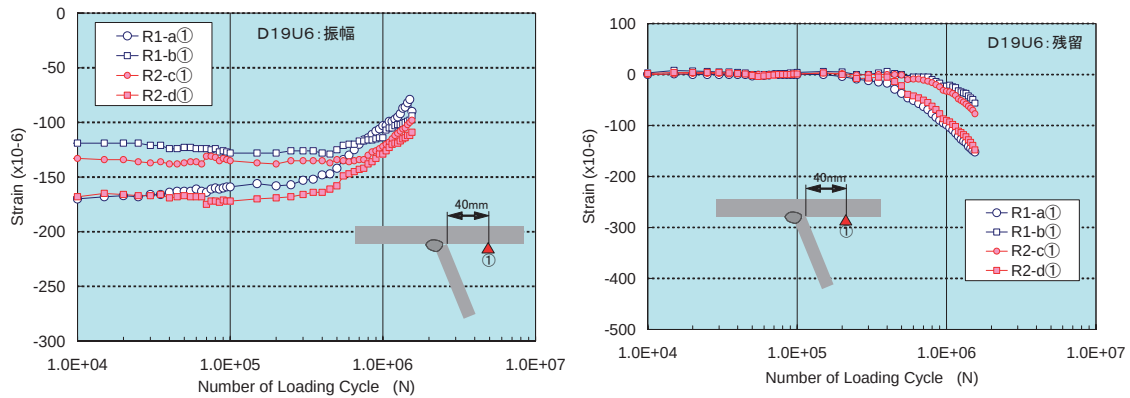
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.127 計測点⑬ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) の橋軸方向のひずみの変化

(8) D19U6

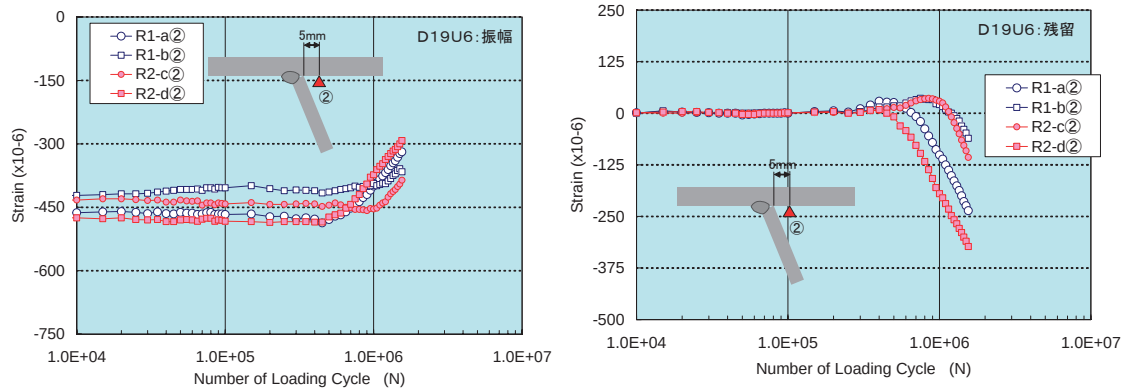
図 3.2.128～140 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

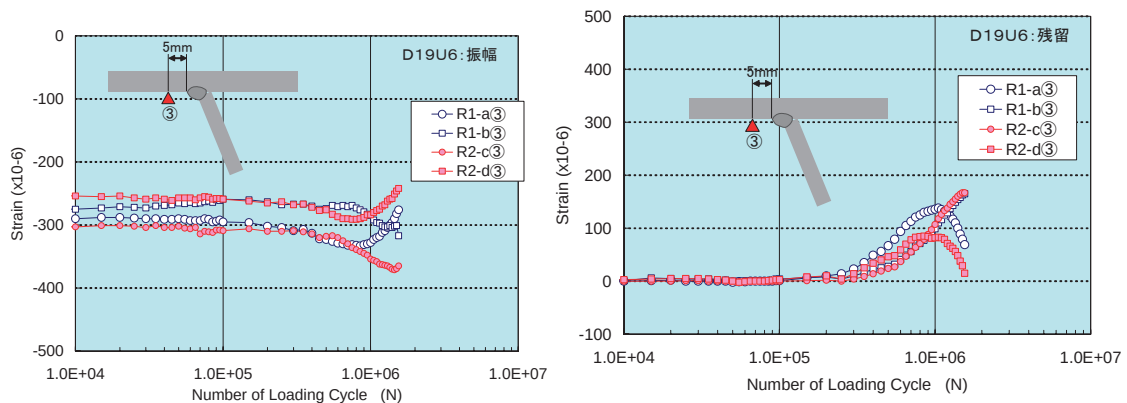
図 3.2.128 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

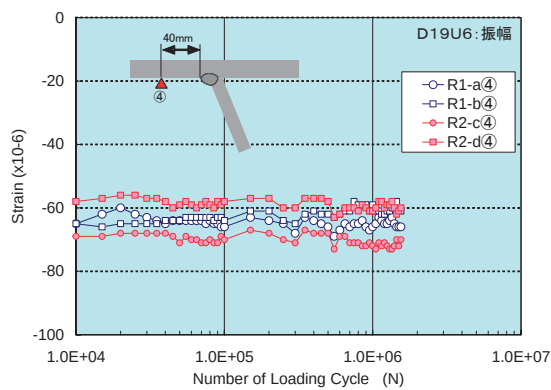
図 3.2.129 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



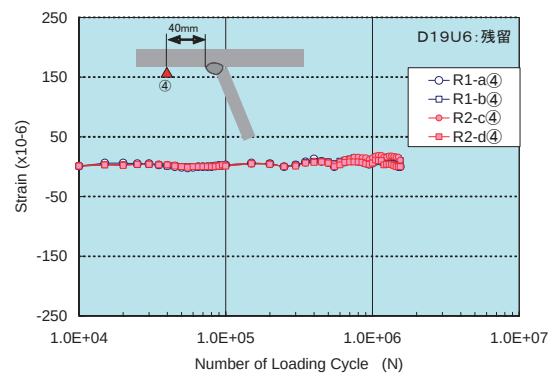
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.130 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

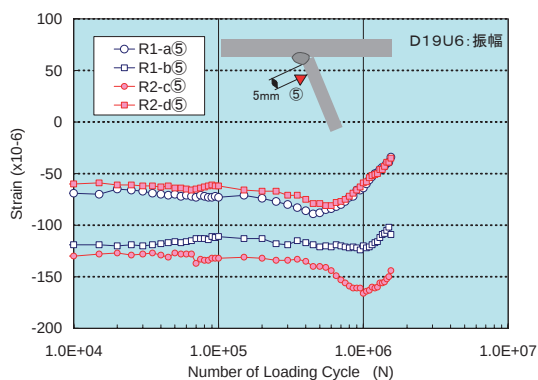


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

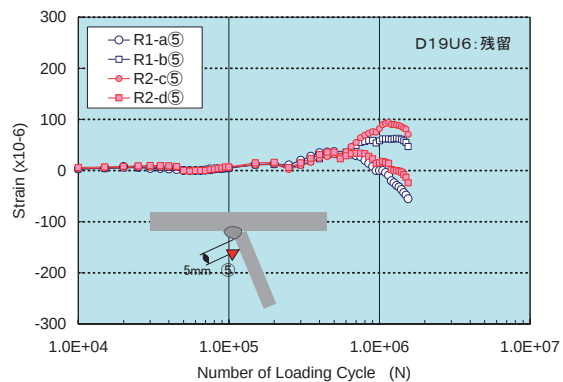


(b) 残留ひずみ

図 3.2.131 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

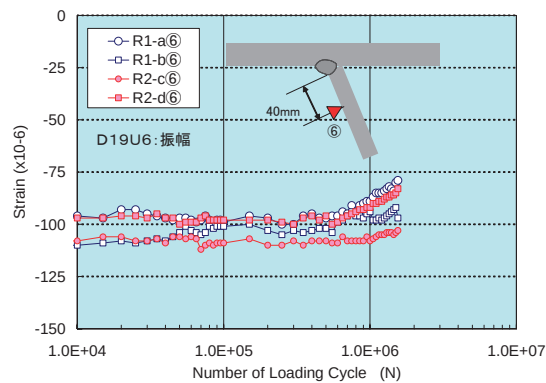


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

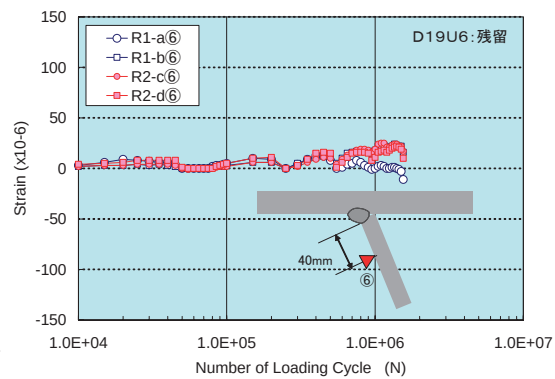


(b) 残留ひずみ

図 3.2.132 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

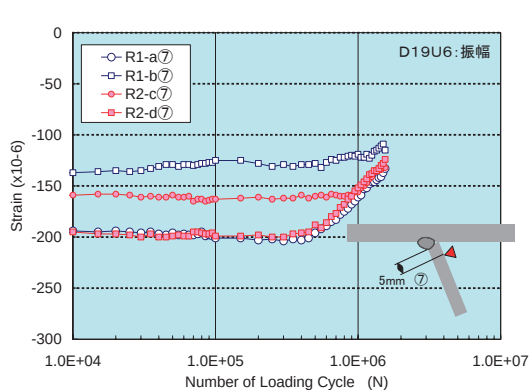


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

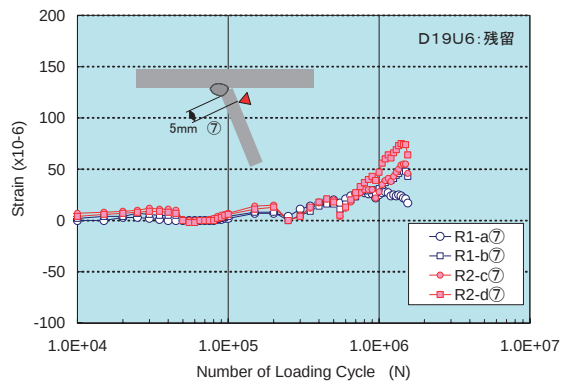


(b) 残留ひずみ

図 3.2.133 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

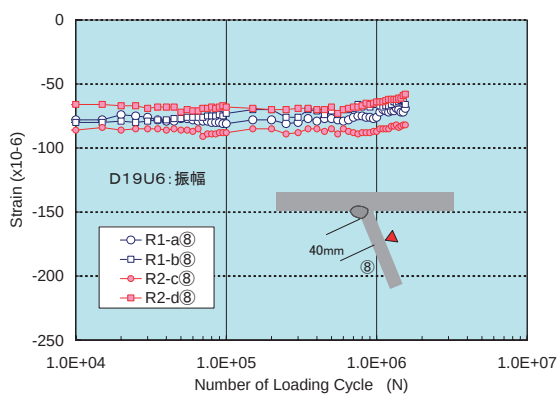


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

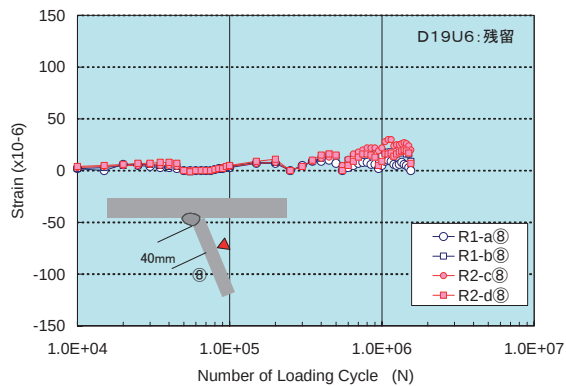


(b) 残留ひずみ

図 3.2.134 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化

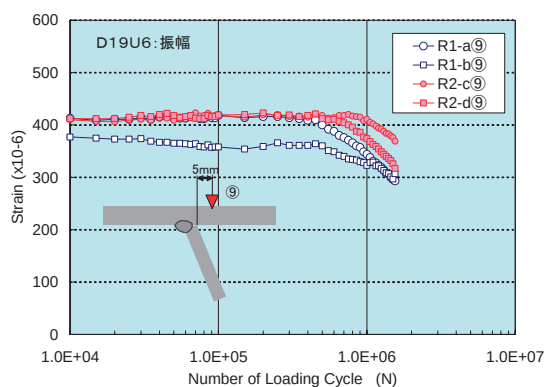


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

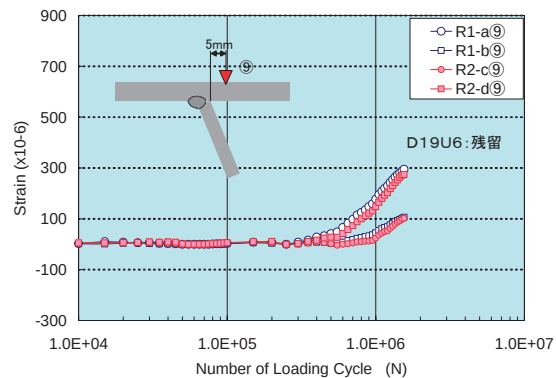


(b) 残留ひずみ

図 3.2.135 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

図 3.2.136 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

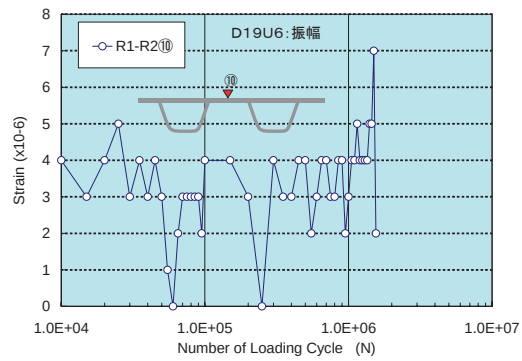
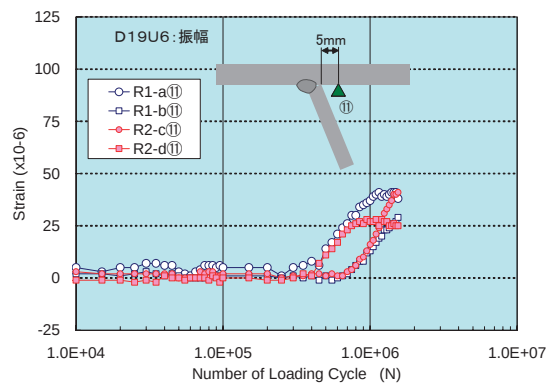
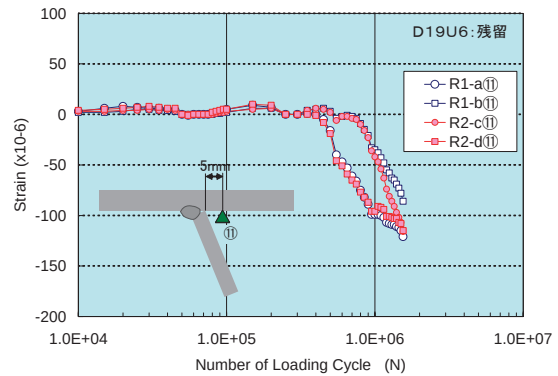


図 3.2.137 計測点⑩（デッキ-上面・R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

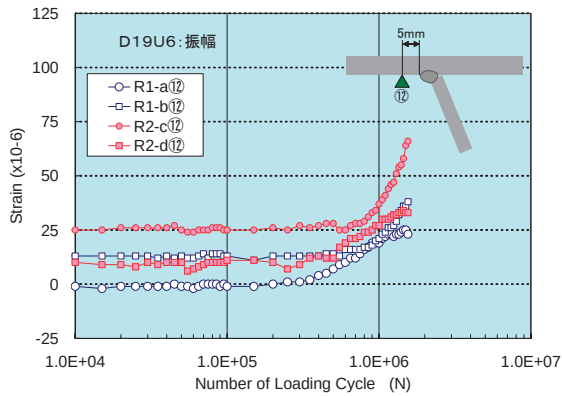


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

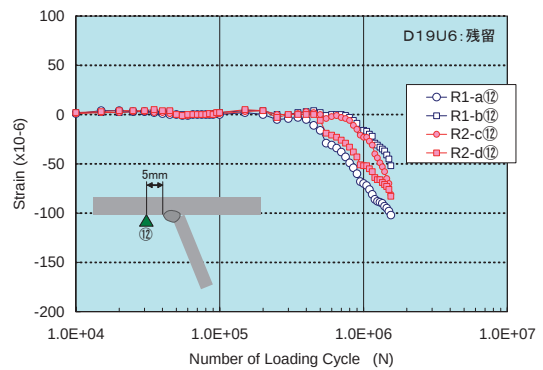


(b) 残留ひずみ

図 3.2.138 計測点⑪（デッキ-内側-ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化

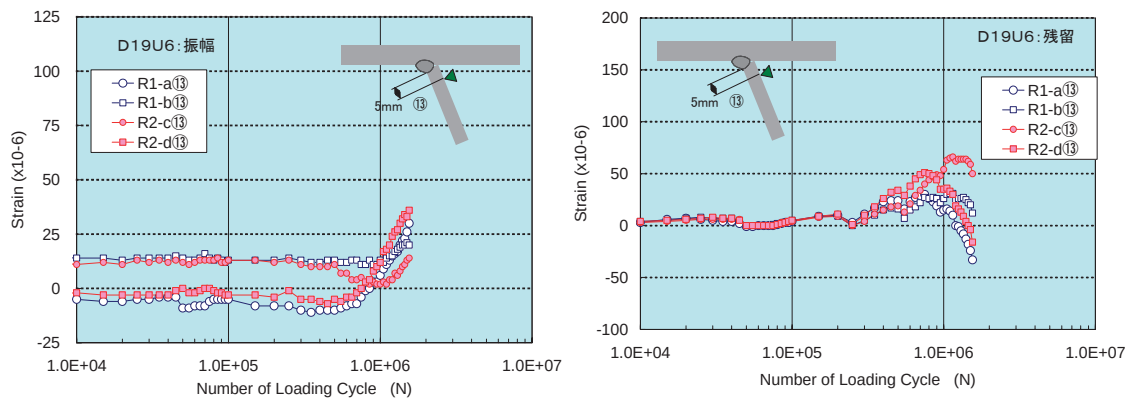


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）



(b) 残留ひずみ

図 3.2.139 計測点⑫（デッキ-外側-ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化



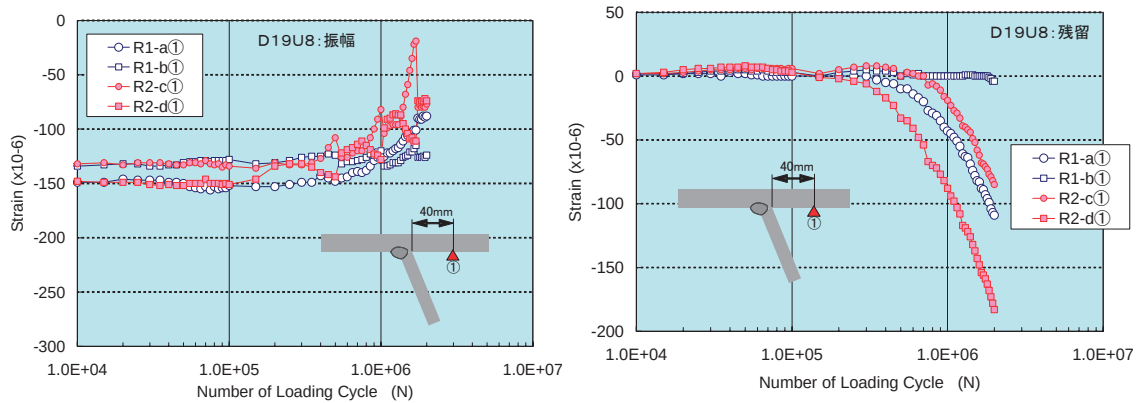
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.140 計測点⑬ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) の橋軸方向のひずみの変化

(9) D19U8

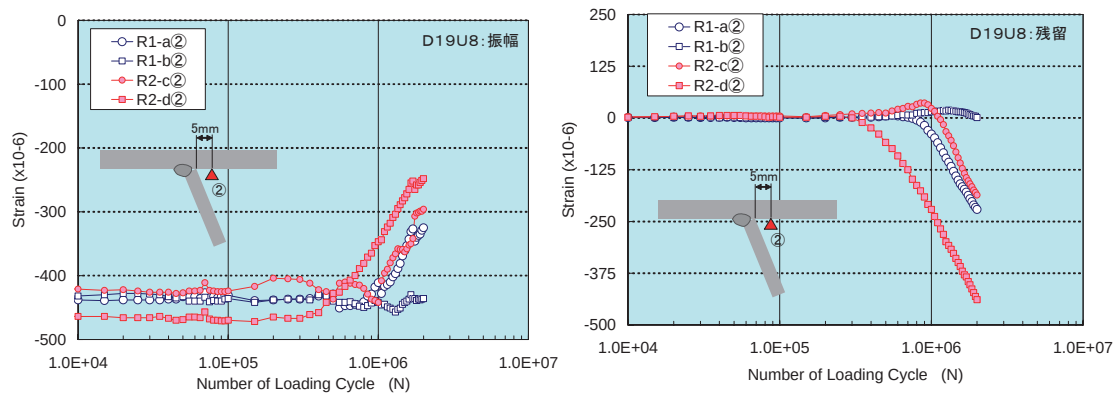
図 3.2.141～153 に各計測点のひずみの計測結果を溶接継手位置毎に示す。



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

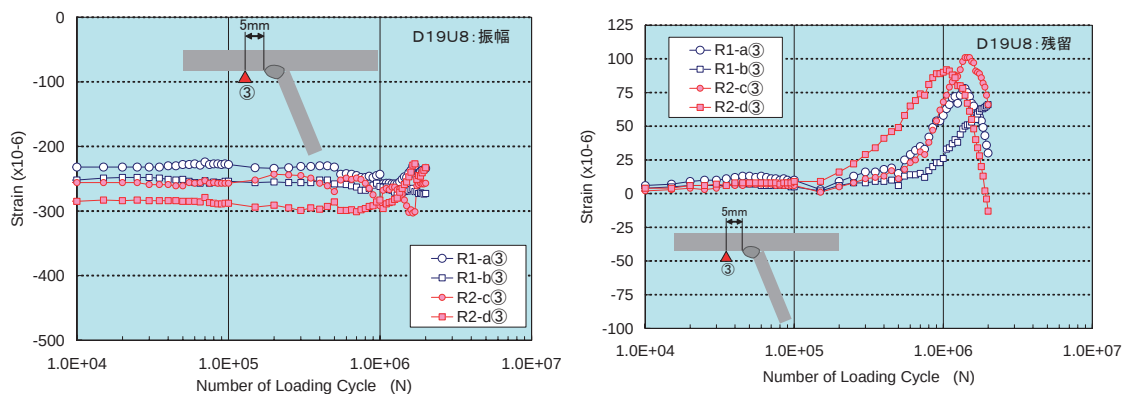
図 3.2.141 計測点① (デッキ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

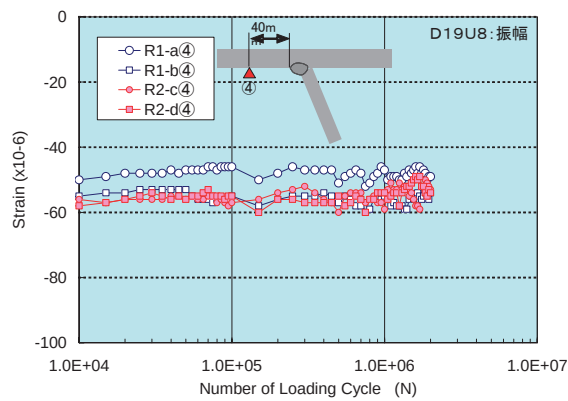
図 3.2.142 計測点② (デッキ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



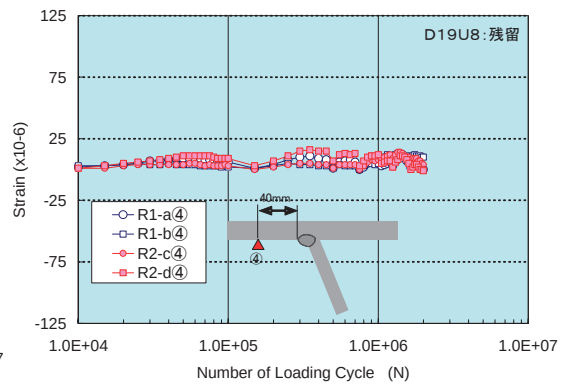
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.143 計測点③ (デッキ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

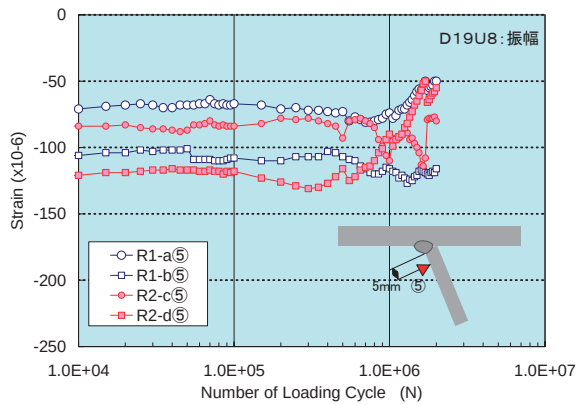


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

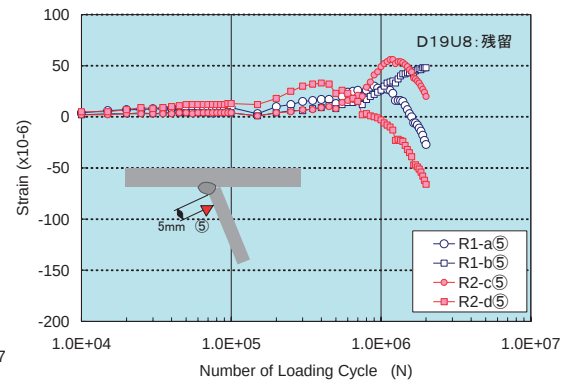


(b) 残留ひずみ

図 3.2.144 計測点④ (デッキ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化

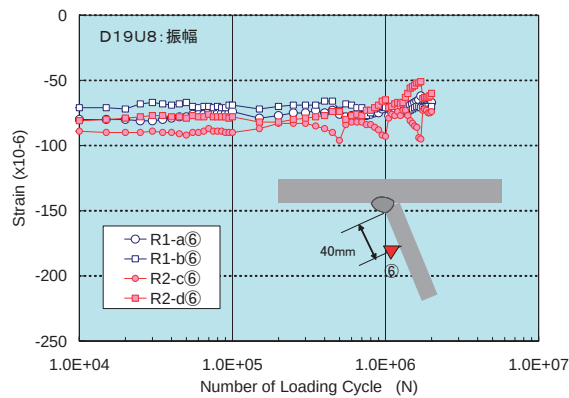


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

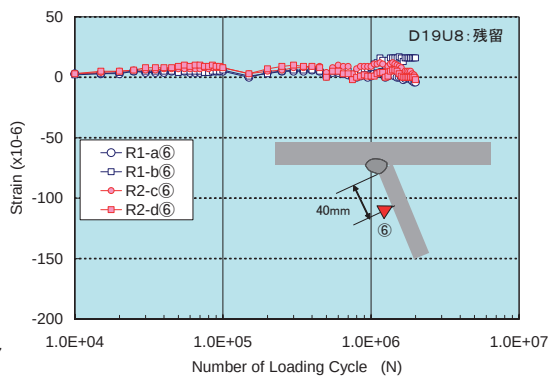


(b) 残留ひずみ

図 3.2.145 計測点⑤ (トラフリブ-外側-ビードから 5mm) のひずみの変化

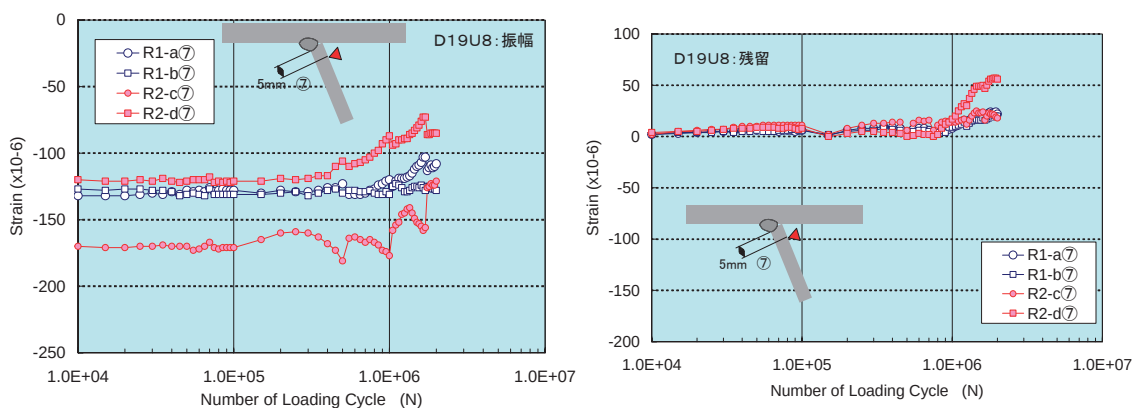


(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



(b) 残留ひずみ

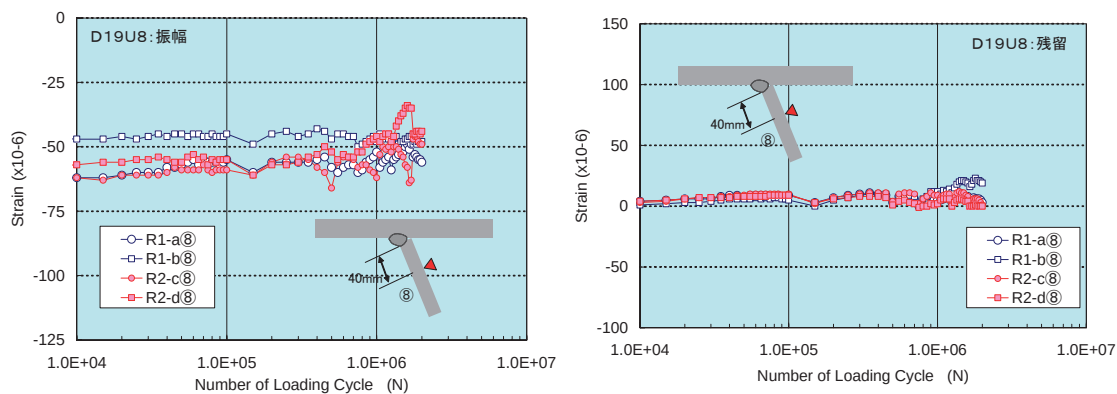
図 3.2.146 計測点⑥ (トラフリブ-外側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

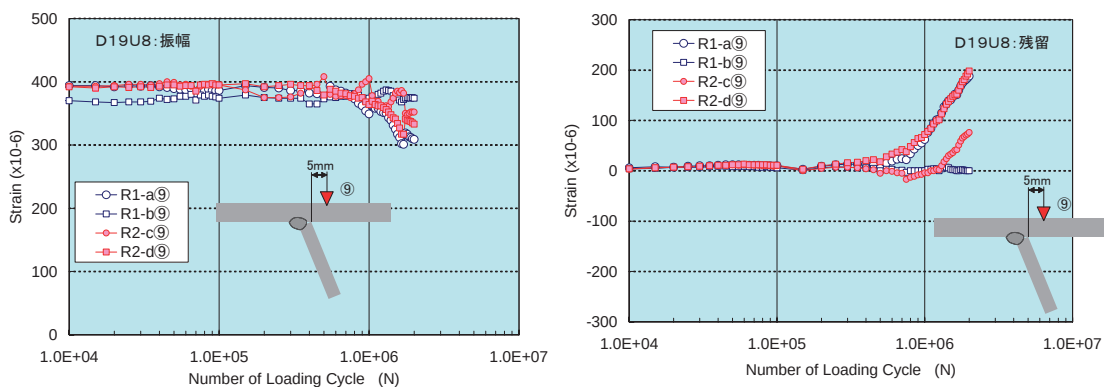
図 3.2.147 計測点⑦ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.148 計測点⑧ (トラフリブ-内側-ビードから 40mm) のひずみの変化



(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)

(b) 残留ひずみ

図 3.2.149 計測点⑨ (デッキ-上面-ビードから 5mm) のひずみの変化

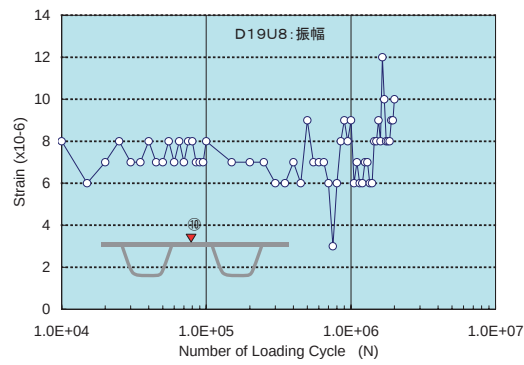
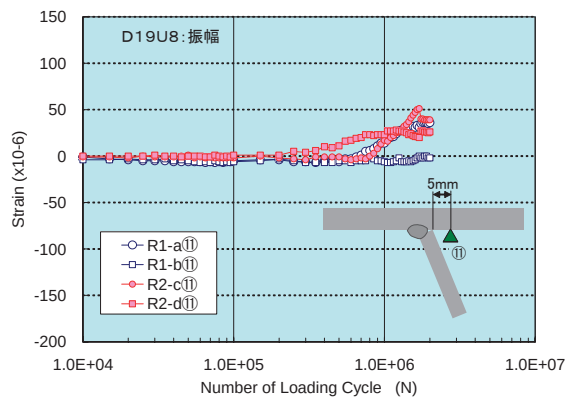
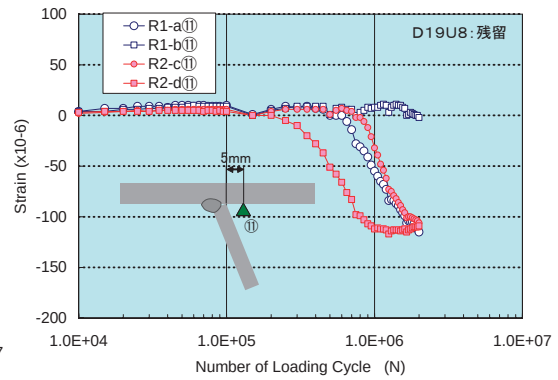


図 3.2.150 計測点⑩（デッキ-上面・R1 と R2 の間）のひずみ振幅（荷重変動 100kN）

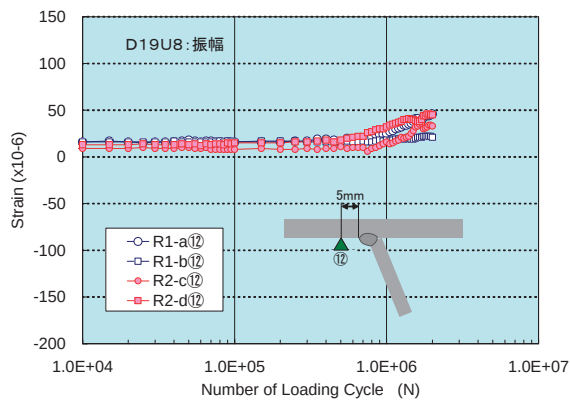


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

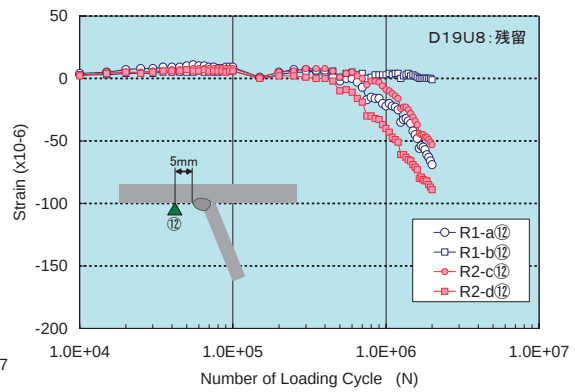


(b) 残留ひずみ

図 3.2.151 計測点⑪（デッキ-内側・ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化

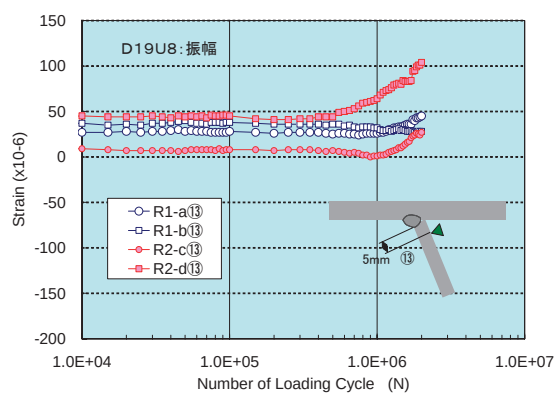


(a) ひずみ振幅（荷重変動 100kN）

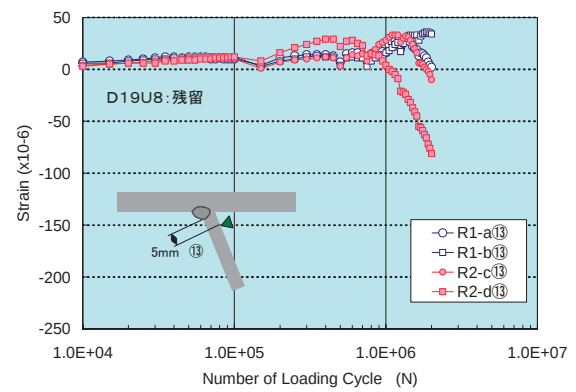


(b) 残留ひずみ

図 3.2.152 計測点⑫（デッキ-外側・ビードから 5mm）の橋軸方向のひずみの変化



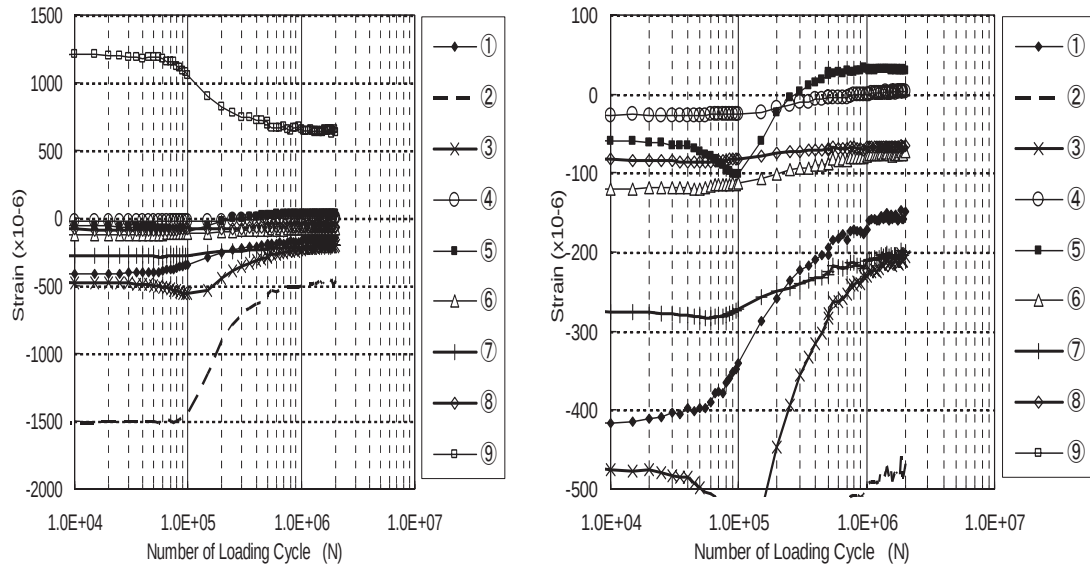
(a) ひずみ振幅 (荷重変動 100kN)



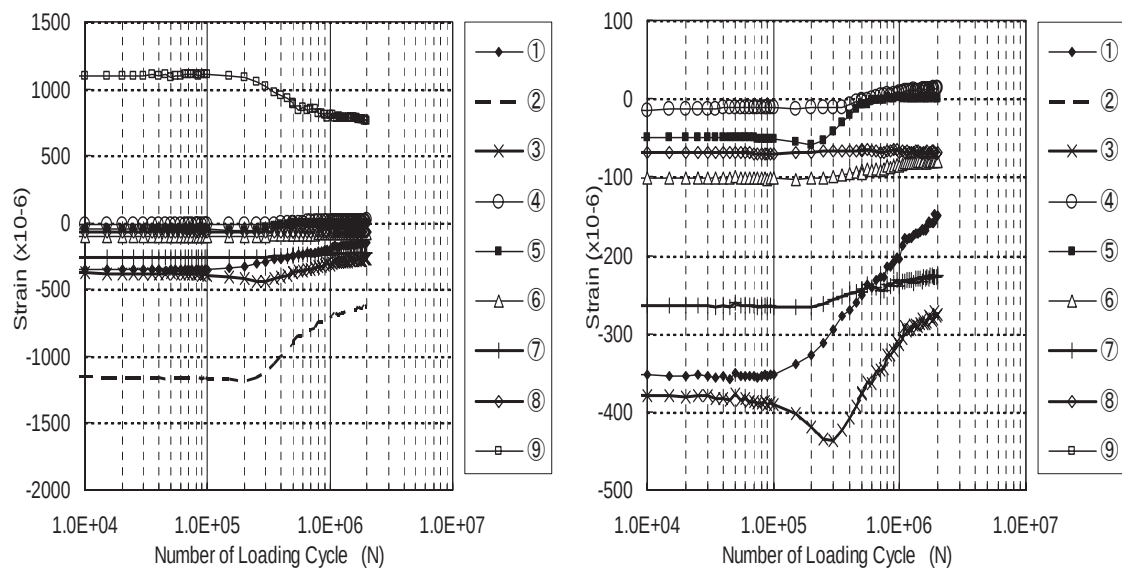
(b) 残留ひずみ

図 3.2.153 計測点⑬ (トラフリブ-内側-ビードから 5mm) の橋軸方向のひずみの変化

図 3.2.154～157 に、各ケースで計測された代表的な位置のひずみ振幅の変化を示す。グラフは各供試体で 4 箇所 (a～d) の値を平均したものである。

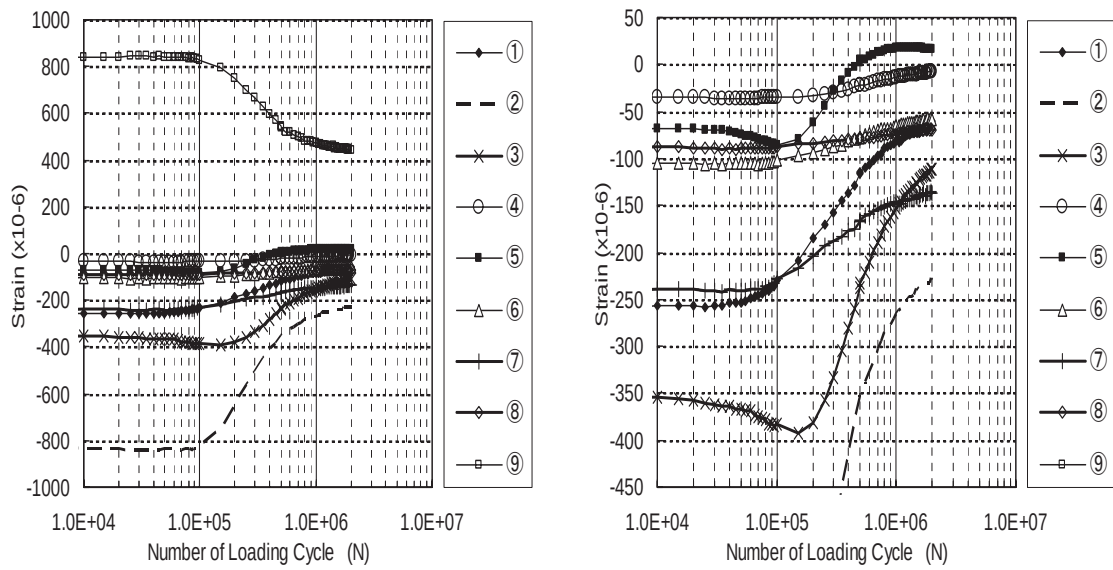


(a) D12U6

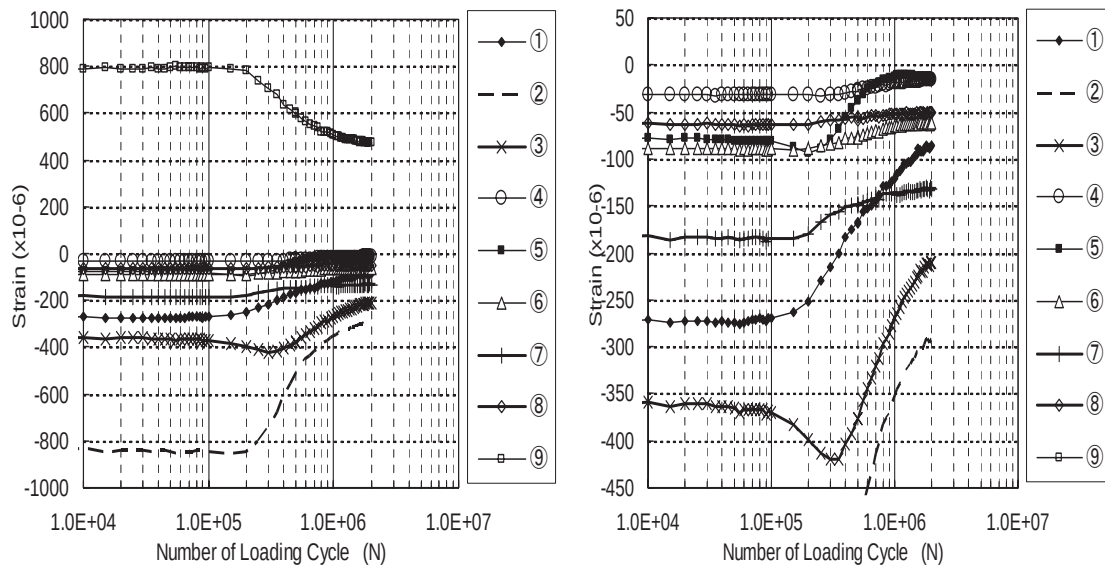


(b) D12U8

図 3.2.154 ひずみ振幅の平均値の推移(D12)

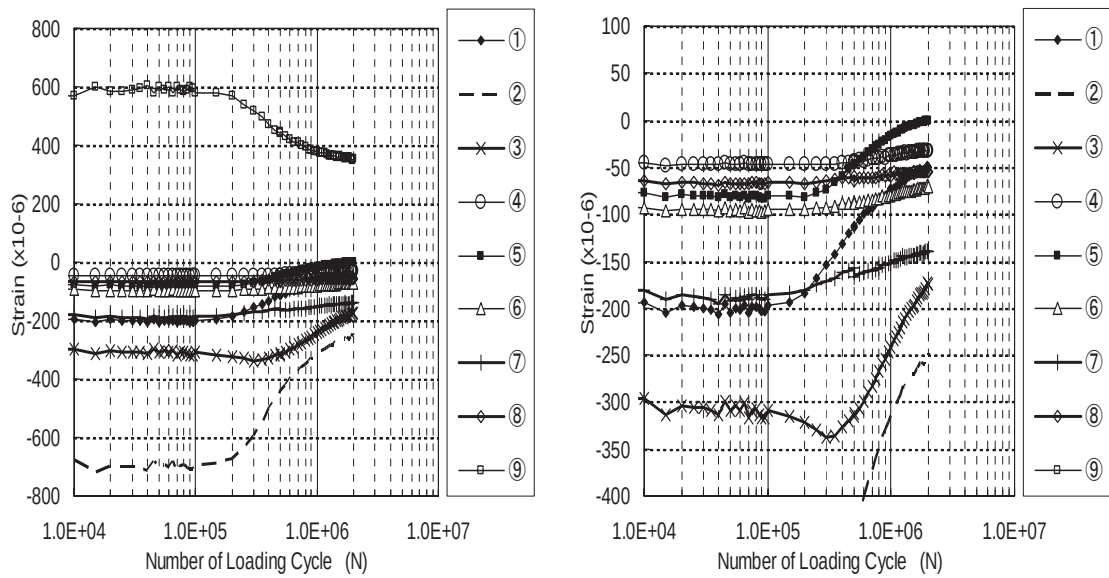


(c) D14U6

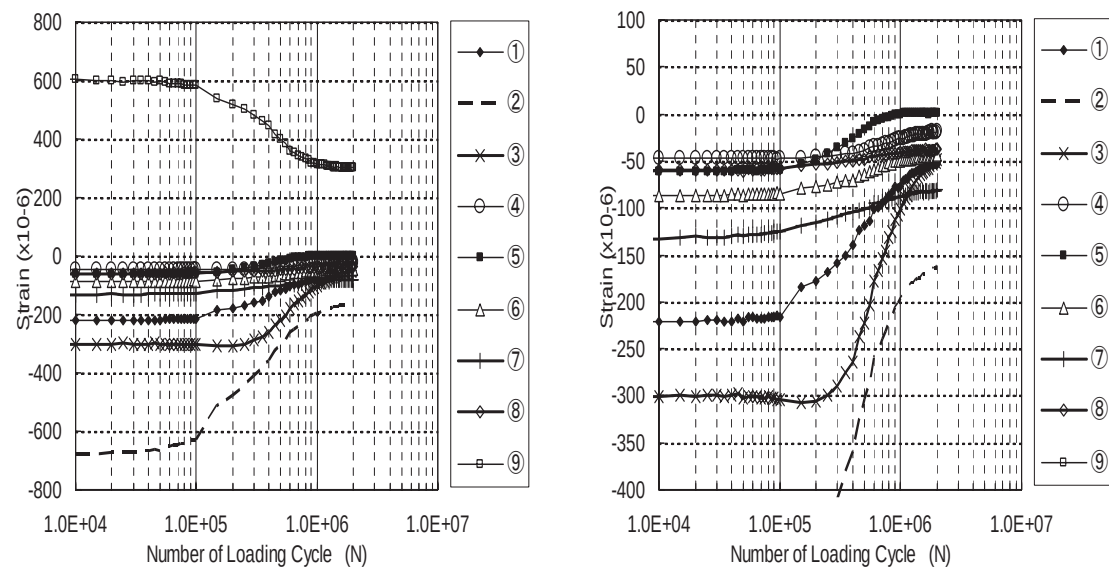


(d) D14U8

図 3.2.155 ひずみ振幅の平均値の推移(D14)

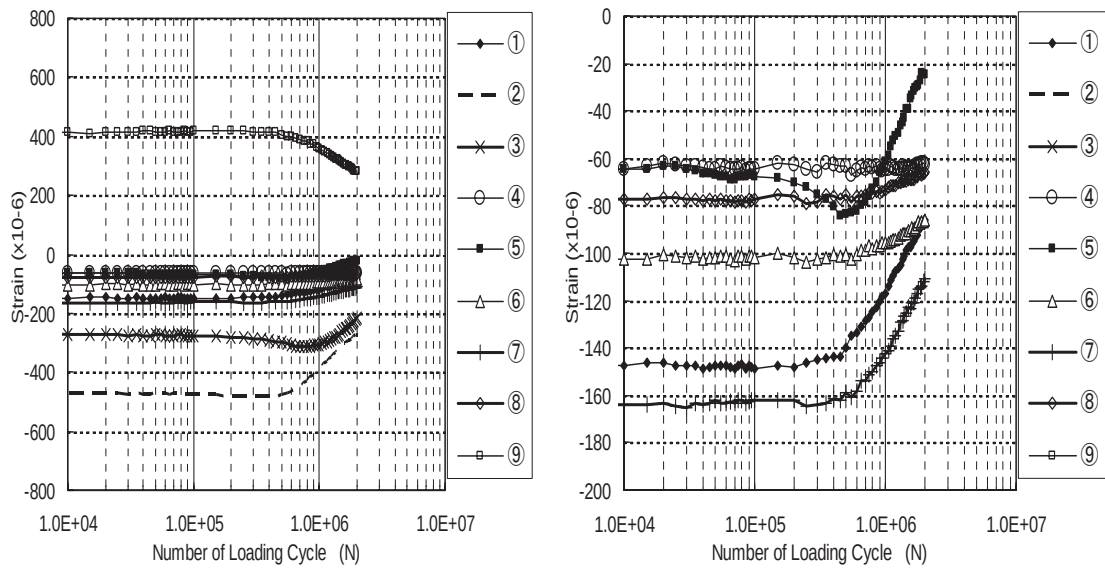


(e) D16U6

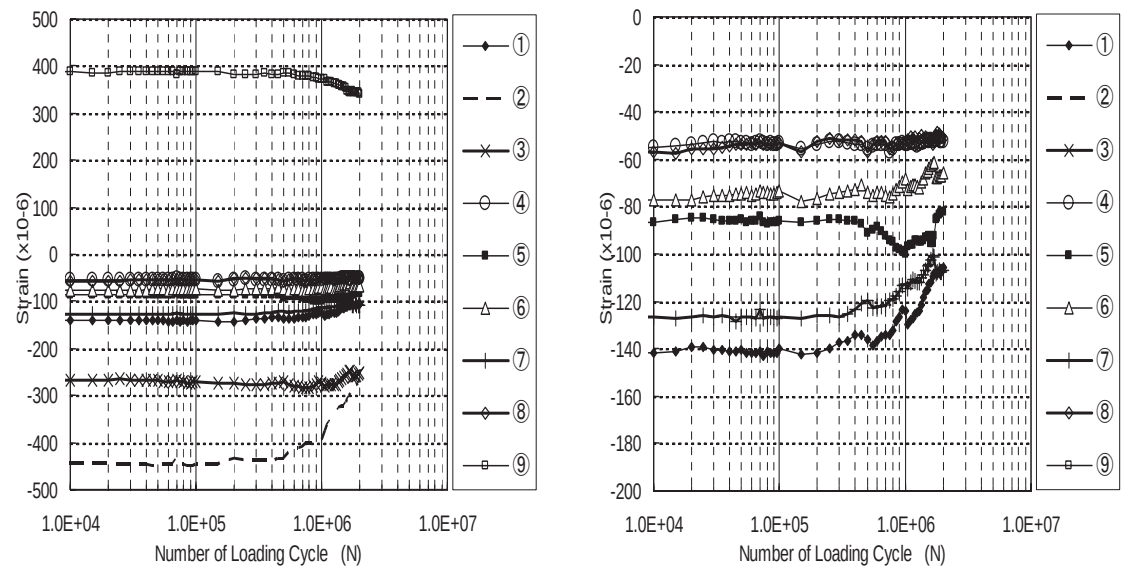


(f) D16U8

図 3.2.156 ひずみ振幅の平均値の推移(D16)



(g) D19U6



(h) D19U8

図 3.2.157 ひずみ振幅の平均値の推移(D19)

いずれのゲージ位置の計測値も、デッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせが異なっても変化の傾向は近似している。

特に②，⑤，⑨の位置のひずみゲージで計測されるひずみの値は，各ケース毎にほぼ同じ時期に変化が現れることから，き裂の発生により載荷荷重に対する耐荷力機構に変化を生じ，その結果として各部のひずみ応答が変化したことが反映されたものと考えられる。

また詳細には，②，⑤，⑨のひずみ変化が先行して，それが継続している中で少し遅れて③のひずみゲージの変化がやや顕著になる傾向がみられる。

そのため③のひずみの変化傾向が変わる前後でき裂の進展方向や速度などの性状が変化している可能性が疑われる。

トラフリブ板厚とデッキプレート厚さが異なる組み合わせとなっているにもかかわらず，載荷開始から実験終了までの各計測位置のひずみゲージの変動の特徴は類似した傾向にある。

それらをまとめると概ね以下の通りである。

・計測点①

ひずみ振幅の値は一貫して減少傾向である。残留ひずみは当初急速に大きくなったのち増加速度が緩やかになる。ただしデッキ厚が大きい 2 ケースについては残留ひずみの増加速度が大きくなりつつある途中で実験が終了しているものと推定される。

・計測点②

ひずみ振幅，残留応力ともに①と同様の变化傾向を示すが，絶対値が大きい。

・計測点③

ひずみ振幅が一旦大きくなった後，減少する傾向を示す。残留ひずみについても同様に，一旦正の値になった後反転して負が増加する傾向を示す。

・計測点⑤

途中まで③と類似の傾向を示し，D19 を除いてひずみ振幅は 0 に漸近して安定する。

・計測点⑦

ひずみ振幅が一貫して減少する傾向を示す。ただしひずみ振幅の変化，残留ひずみともに相対的に値は小さい。

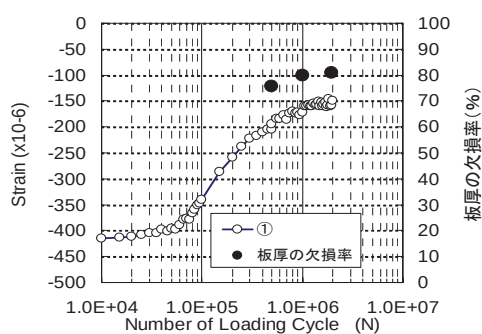
・計測点⑨

ひずみ振幅は徐々に減少するが，途中より変化速度が小さくなり安定する。残留ひずみも途中で一旦急増するもののひずみ振幅の変化が小さくなるにつれ増加はとまる。

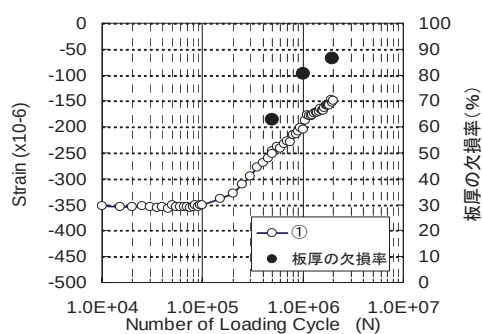
・計測点⑬

ひずみ振幅は当初ほとんど 0 に近い値を示し，その後徐々に増加する。残留ひずみもひずみ振幅の増加に連動して途中から急速に増加する傾向を示す。

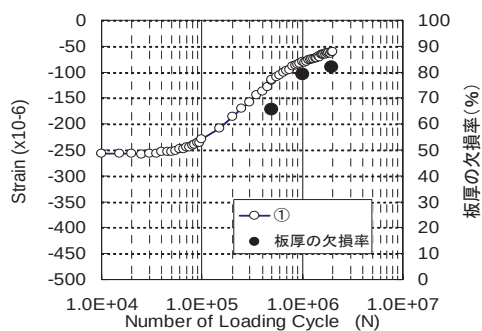
これらの各ゲージでのひずみ応答の変化とき裂の進展程度との関係をより明確にするために，各位置のゲージについて，ひずみ振幅と超音波探傷試験で推定した板厚の欠損率の関係を整理した。結果のグラフを図 3.2.158～166 に示す。



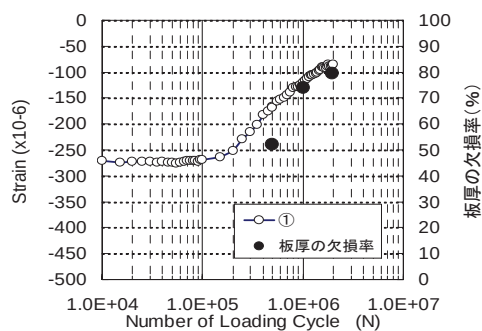
(a) D12U6



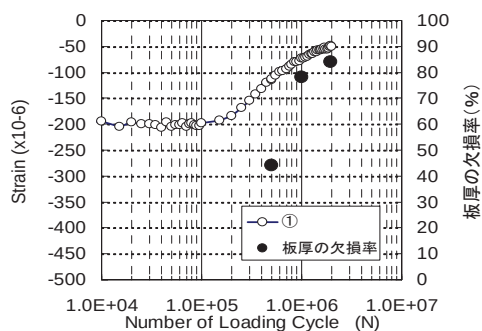
(b) D12U8



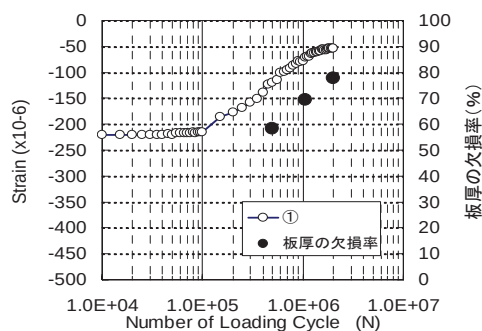
(c) D14U6



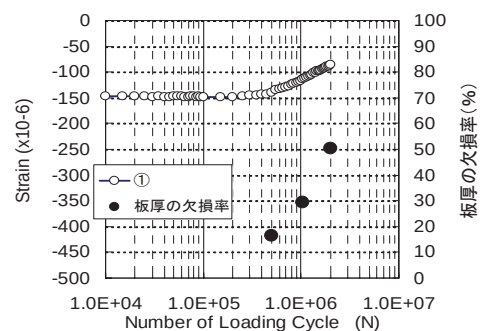
(d) D14U8



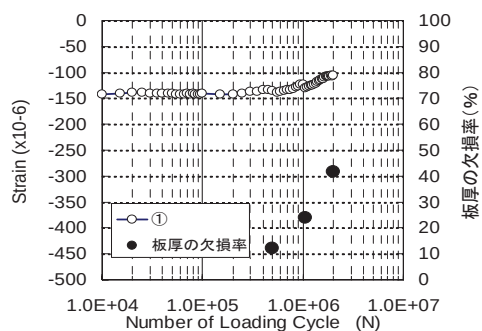
(e) D16U6



(f) D16U8

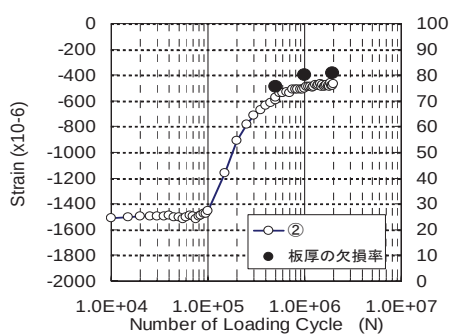


(g) D19U6

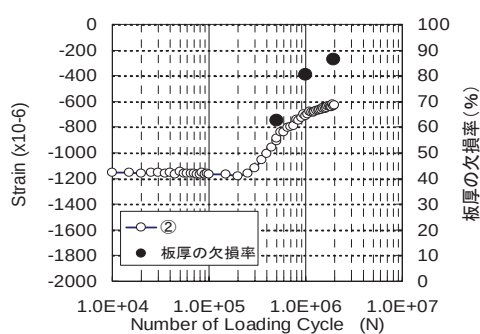


(h) D19U8

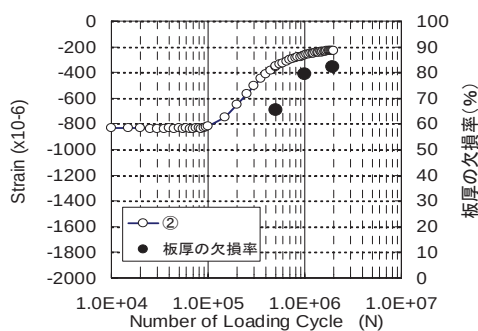
図 3.2.158 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ①)



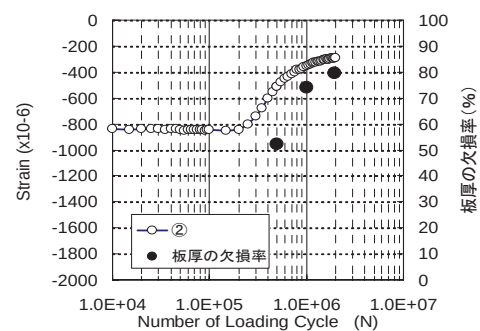
(a) U12U6



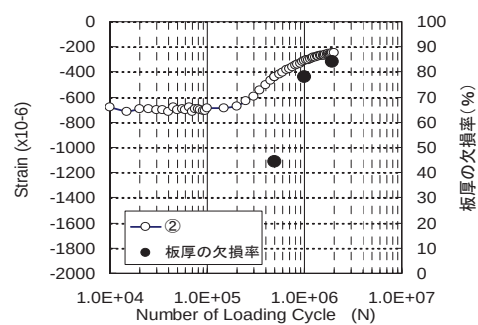
(b) D12U8



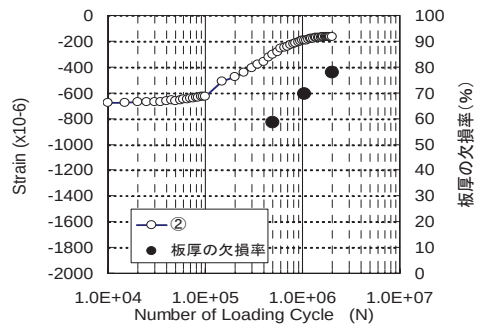
(c) D14U6



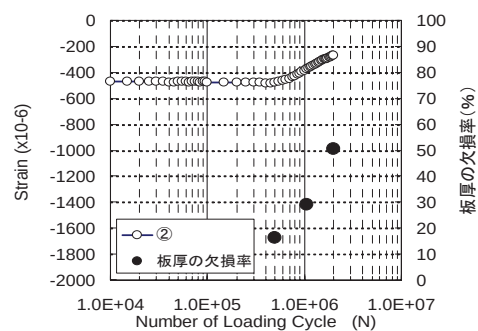
(d) D14U8



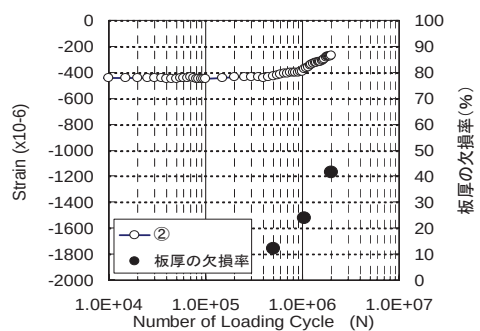
(e) D16U6



(f) D16U8

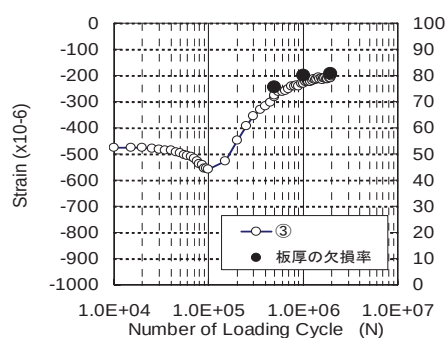


(g) D19U6

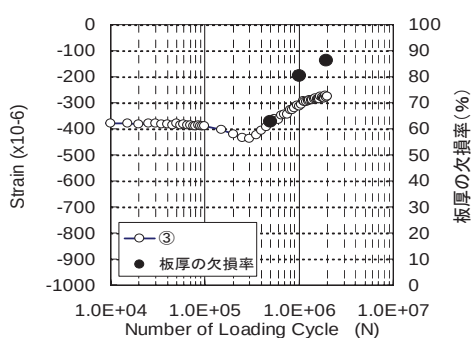


(h) D19U8

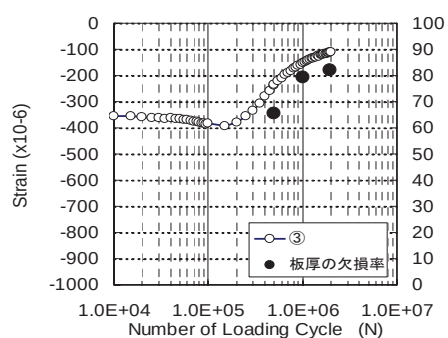
図 3.2.159 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ②)



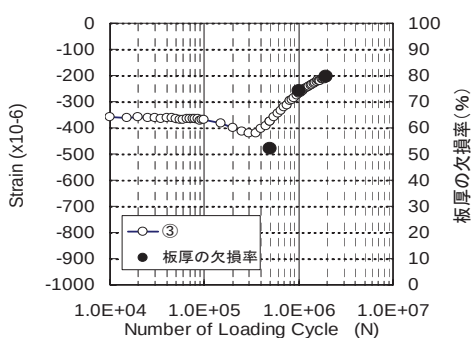
(a) D12U6



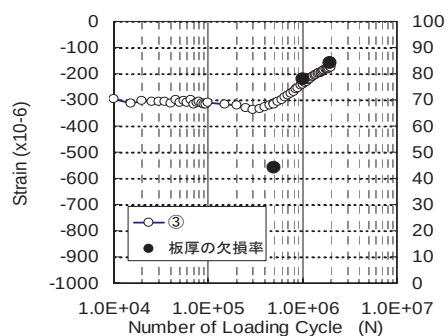
(b) D12U8



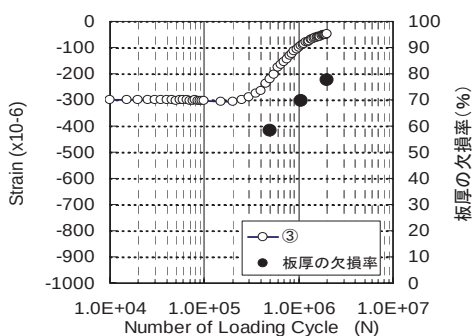
(c) D14U6



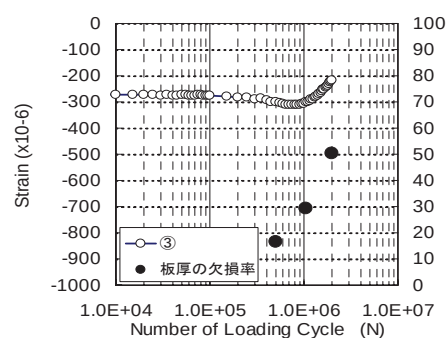
(d) D14U8



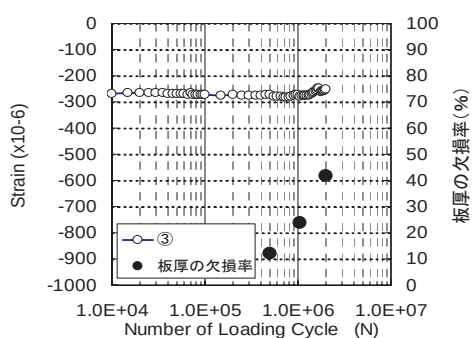
(e) D16U6



(f) D16U8

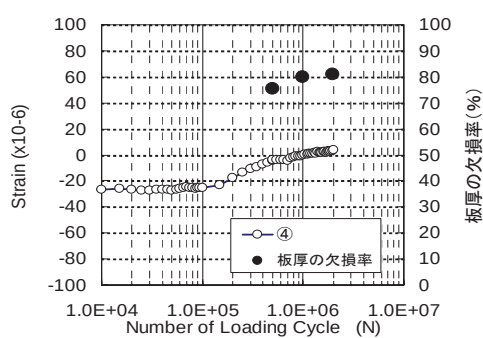


(g) D19U6

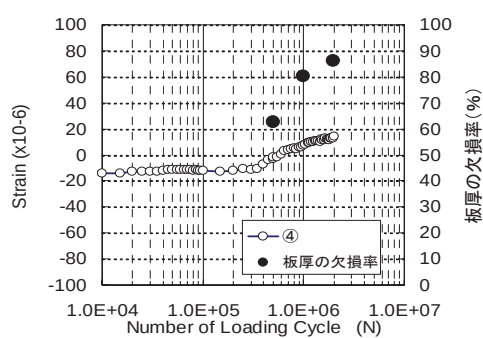


(h) D19U8

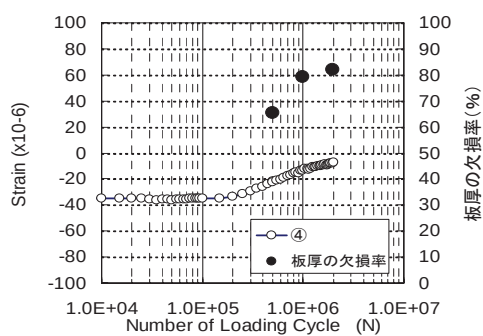
図 3.2.160 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ③)



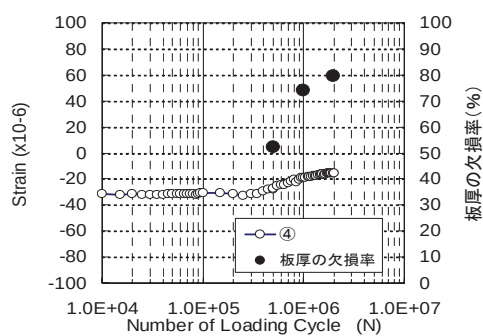
(a) D12U6



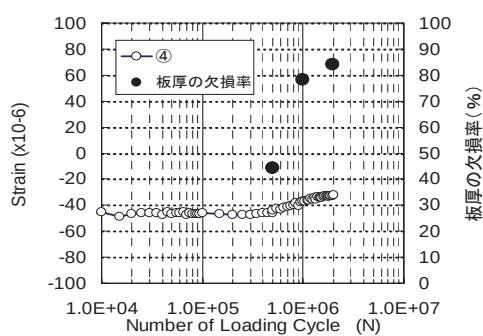
(b) D12U8



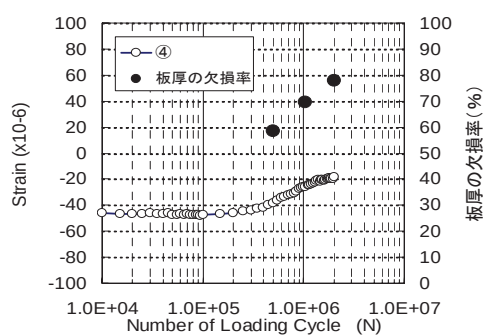
(c) D14U6



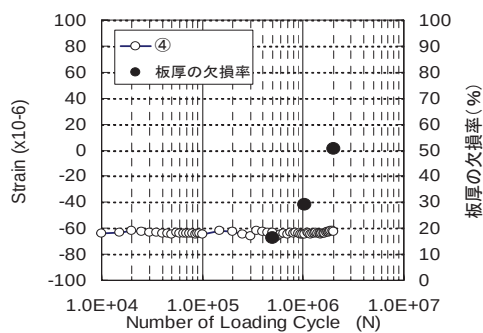
(d) D14U8



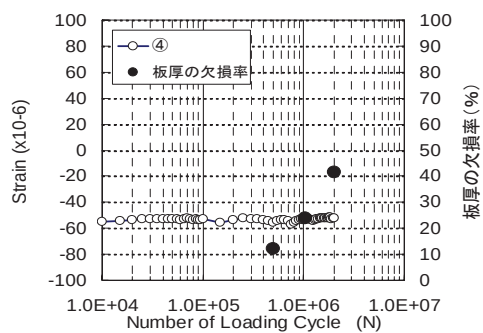
(e) D16U6



(f) D16U8

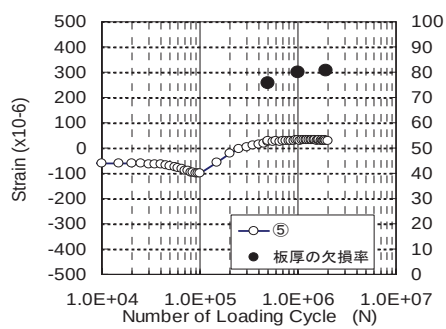


(g) D19U6

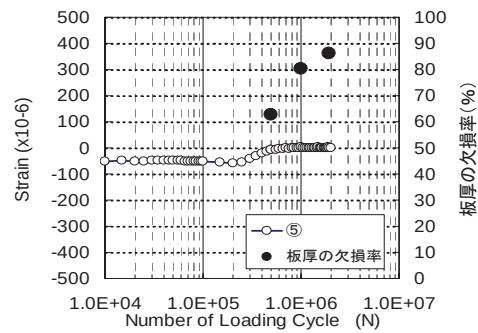


(h) D19U8

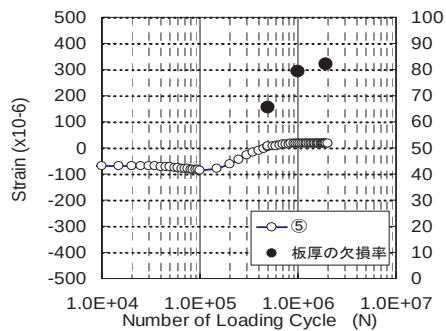
図 3.2.161 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ④)



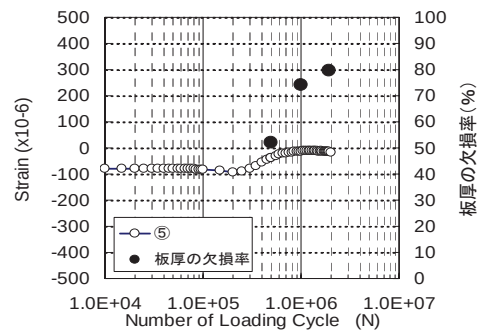
(a) D12U6



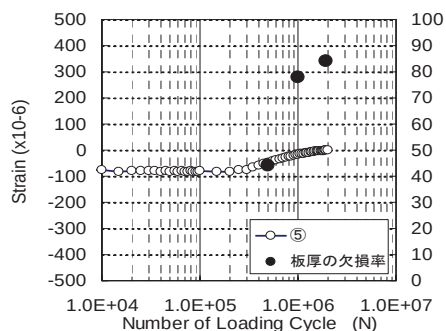
(b) D12U8



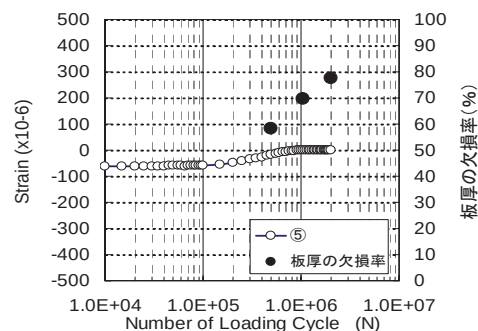
(c) D14U6



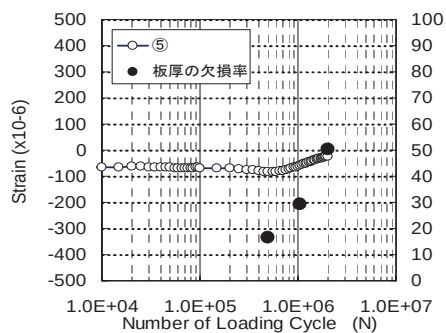
(d) D14U8



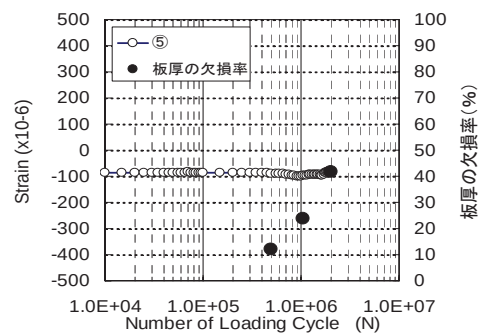
(e) D16U6



(f) D16U8

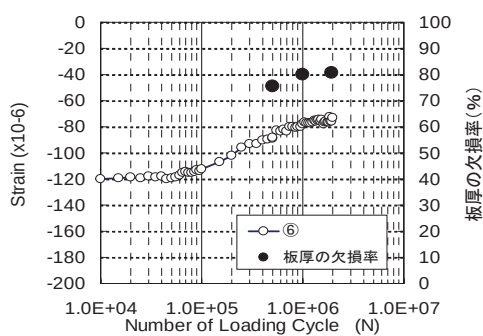


(g) D19U6

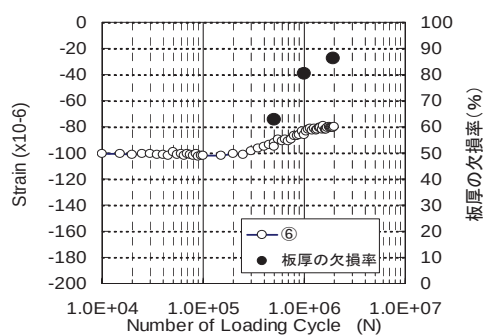


(h) D19U8

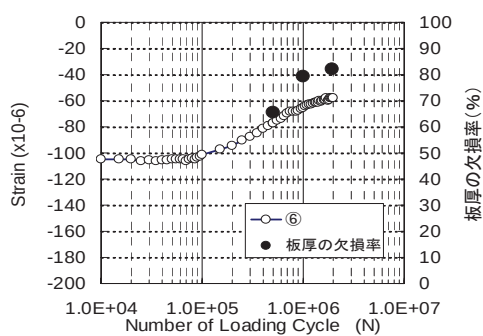
図 3.2.162 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑤)



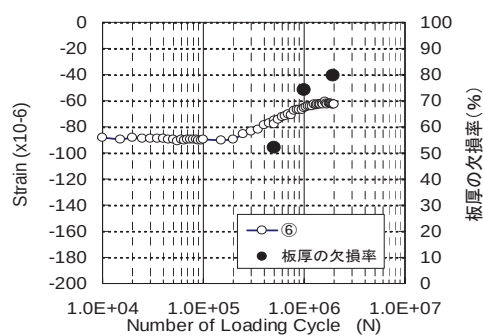
(a) D12U6



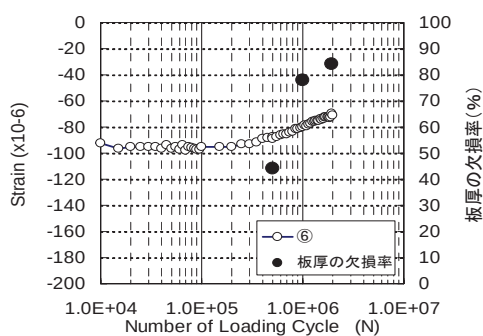
(b) D12U8



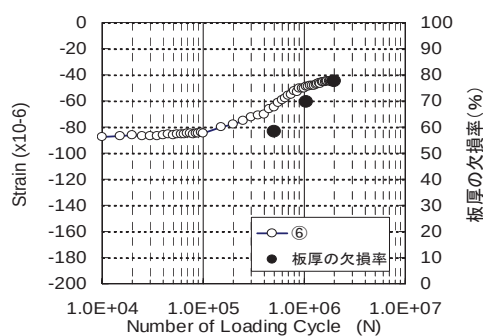
(c) D14U6



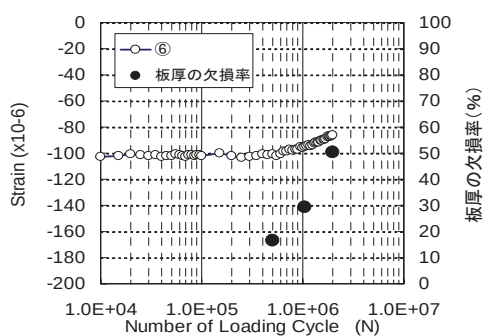
(d) D14U8



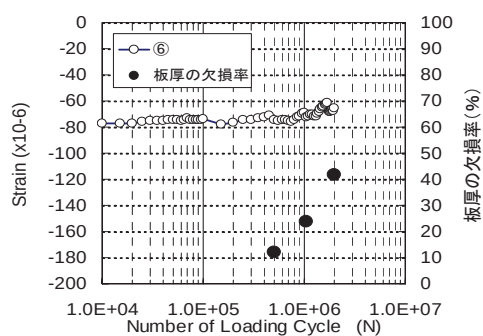
(e) D16U6



(f) D16U8

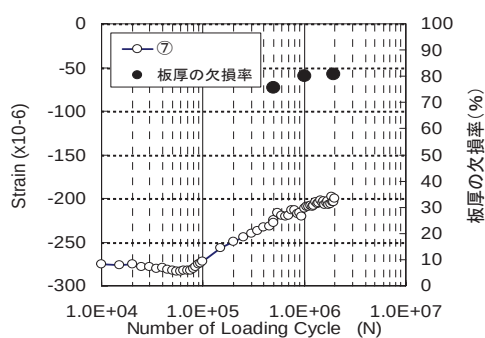


(g) D19U6

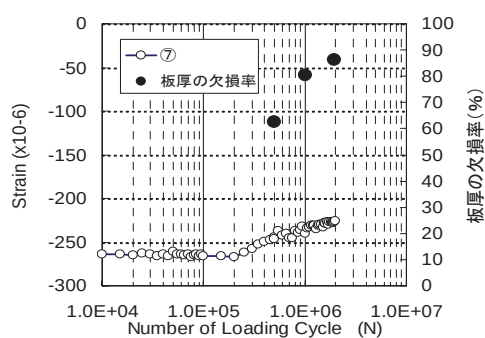


(h) D19U8

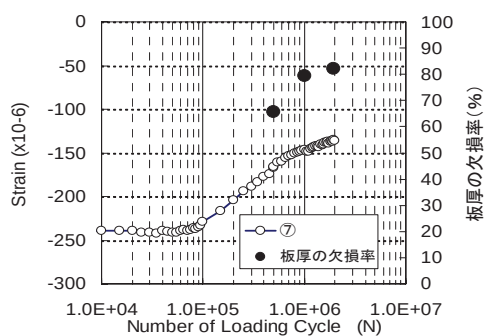
図 3.2.163 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑥)



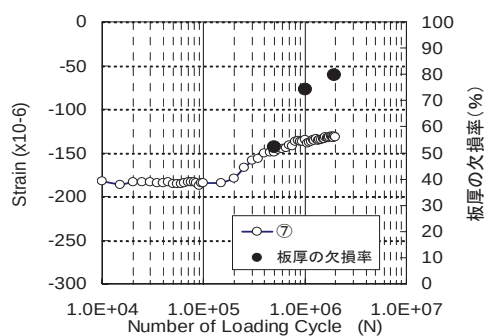
(a) D12U6



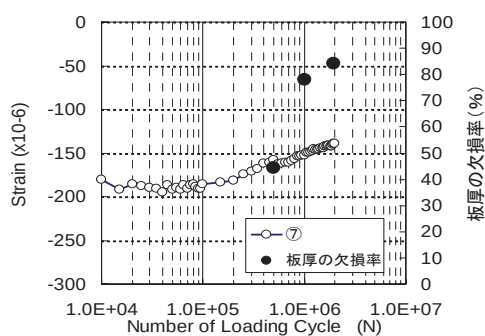
(b) D12U8



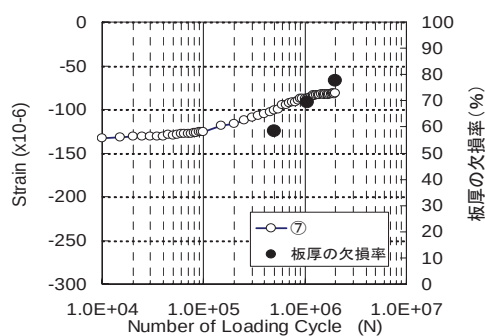
(c) D14U6



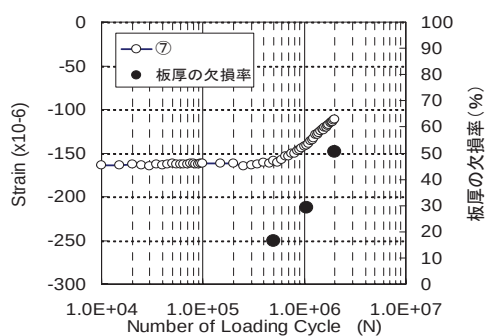
(d) D14U8



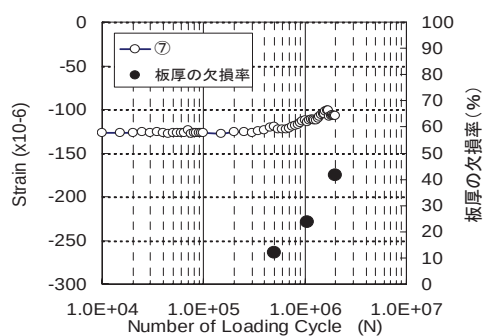
(e) D16U6



(f) D16U8

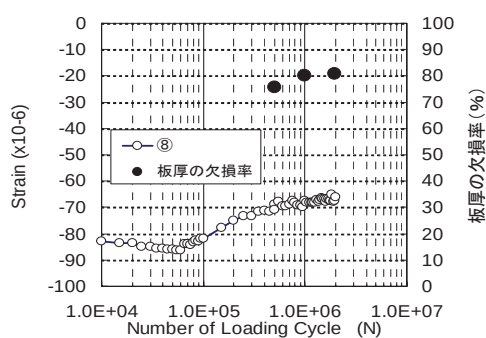


(g) D19U6

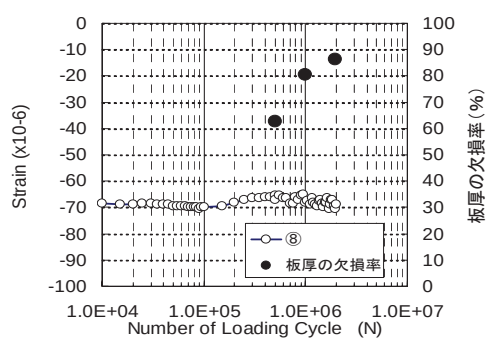


(h) D19U8

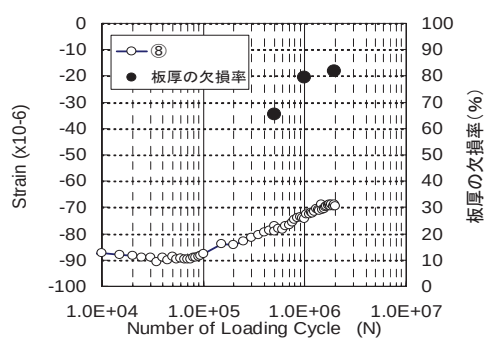
図 3.2.164 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑦)



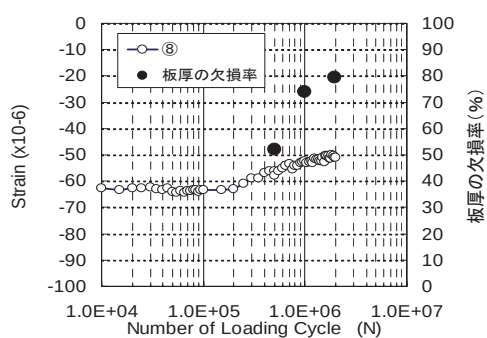
(a) D12U6



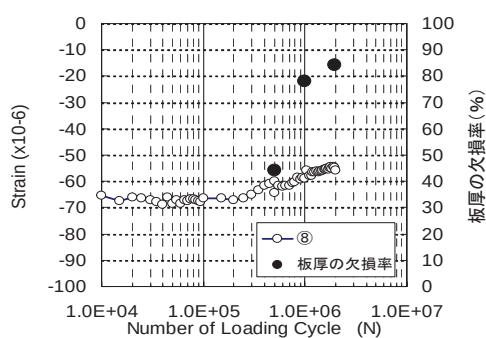
(b) D12U8



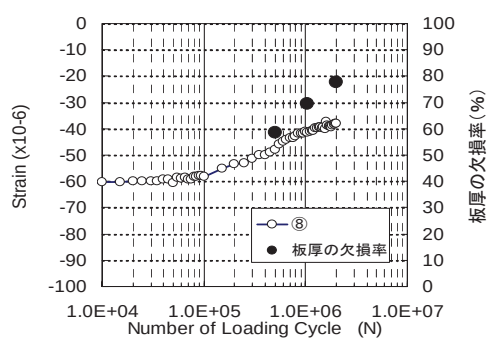
(c) D14U6



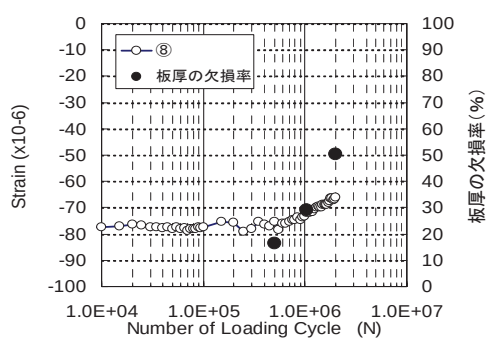
(d) D14U8



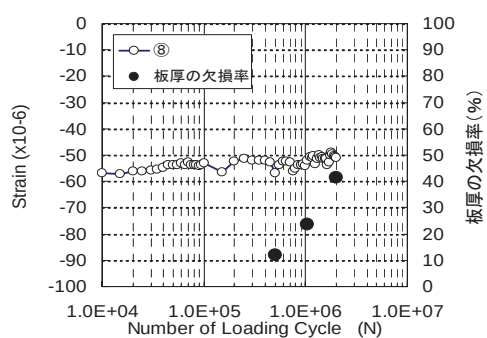
(e) D16U6



(f) D16U8

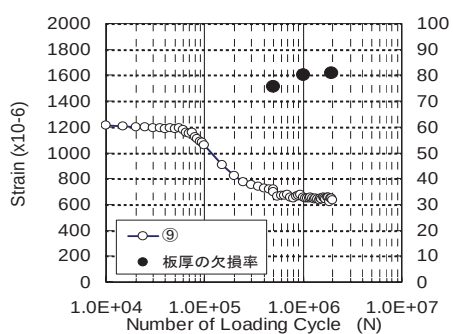


(g) D19U6

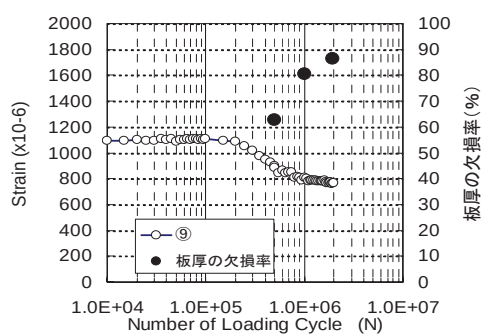


(h) D19U8

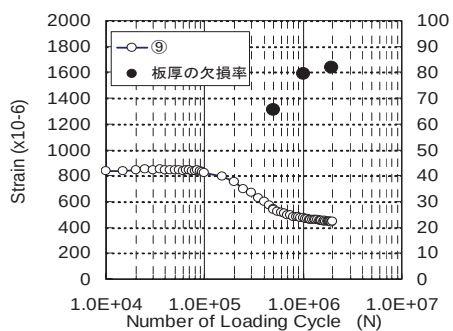
図 3.2.165 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑧)



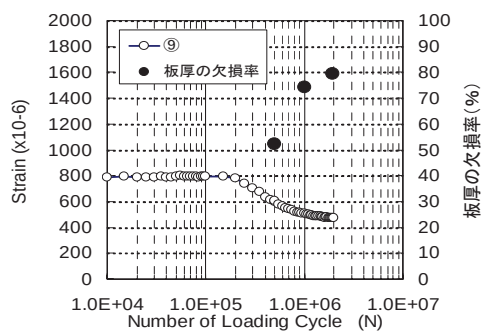
(a) D12U6



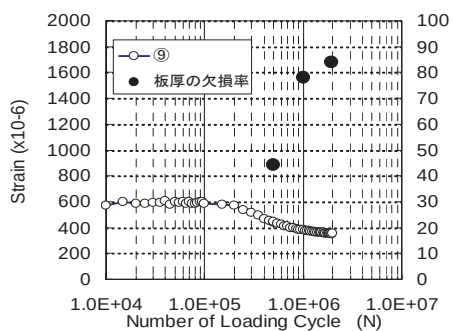
(b) D12U8



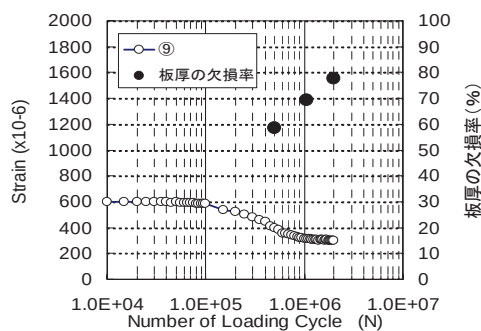
(c) D14U6



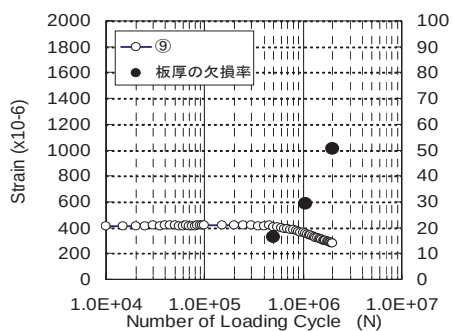
(d) D14U8



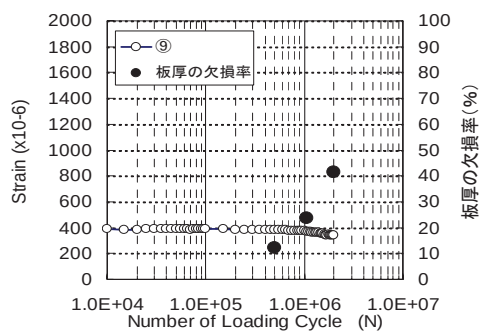
(e) D16U6



(f) D16U8



(g) D19U6



(h) D19U8

図 3.2.166 ひずみ振幅と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑨)

各ゲージ位置結果でみられた主な特徴は次の通り

・ゲージ②

いずれのケースでも、ひずみの値の変化傾向は、UTによる推定板厚欠損率の変化傾向と同様の傾向を示しており、デッキ板厚 19mm のケース (D19U6,D19U8)では、ひずみの値が変化し始めた時期と、UTによって板厚欠損がほぼ確実と認識できる板厚欠損率 10%程度となる時期はほぼ一致している。

また、デッキ板厚 12mm のケース (D12U6, D12U8)では、途中急激に変化していたひずみが試験最終段階ではその変化が徐々に小さくなっているが、UTによる推定板厚欠損率の変化の傾向もこれと一致している。

このように②のゲージで計測されるひずみの変化傾向は UT による推定板厚欠損率の変化と同調した傾向を示しており、き裂の進展程度と直接的な関係にあるものと考えられる。

また、デッキプレート板厚とトラフリブ板厚の組み合わせに依らず、き裂進展の傾向とそれに対するひずみの変化傾向は同じとなることがわかる。

・ゲージ③

各ケースの変化から、き裂の進展に伴い、ひずみの値の変化傾向は一旦ひずみ振幅が拡大したのち、急速に小さくなるが最終段階でもある程度のひずみ振幅が保持される。

このときひずみ振幅が最大となるのは D19, D16, D14 の結果から板厚欠損率が 30～50%程度となった段階に対応しているものと推定される。

板厚が小さいケースほど、ひずみ振幅が一旦拡大する現象がより顕著に表れる傾向にあるものの、③のゲージで計測されるひずみの変化傾向もゲージ②の場合と同様に、ひずみの変化と UT による推定板厚欠損率の変化はデッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせに依らず同様の变化傾向を示すものと考えられ、き裂の進展程度を反映したのと考えられる。

・ゲージ⑤

各ケースの変化から、き裂の進展に伴い、ひずみの値の変化傾向は一旦ひずみ振幅が拡大したのち、急速に小さくなり最終的にはひずみ振幅は 0 に近づいていくものと推定される。

このときひずみ振幅が最大となるのは D19, D16, D14 の結果から板厚欠損率が 30～50%程度となった段階に対応しているものと推定され、変化傾向が変わる時期はゲージ③でのひずみと一致しているものと考えられる。

なおゲージ③と異なり、板厚欠損率が大きくなるにつれてひずみ振幅はケースによらずゼロに近づく特徴があり、概ね板厚欠損率が 80%程度にまで至るとひずみ振幅はほぼゼロとなるものと考えられる。

板厚が小さいケースほど、ひずみ振幅が一旦拡大する現象がより顕著に表れる傾向にあるものの、③のゲージで計測されるひずみの変化傾向もゲージ②の場合と同様に、ひずみの変化と UT による推定板厚欠損率の変化はデッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせに依らず同様の变化傾向を示すものと考えられ、き裂の進展程度を反映したのと考えられる。

えられる。

・ゲージ⑨

各ケースでひずみ振幅の値は徐々に減少し、ゲージ②のひずみと丁度正負が反転したような変化の挙動を示す。

ゲージ②と同様に、デッキ板厚 19mm のケース (D19U6,D19U8)では、ひずみの値が変化した始めた時期と、UT によって板厚欠損がほぼ確実に認識できる板厚欠損率 10%程度となる時期がほぼ一致している。

また、デッキ板厚 12mm のケース (D12U6, D12U8)では、途中急激に変化していたひずみが試験最終段階ではその変化が徐々に小さくなっているが、UT による推定板厚欠損率の変化の傾向もこれと一致しており、この特徴もゲージ②と同様である。

このように⑨のゲージで計測されるひずみの変化傾向はゲージ②と同様に UT による推定板厚欠損率の変化と同調した傾向を示しており、き裂の進展程度と直接的な関係にあるものと考えられる。

また、デッキプレート板厚とトラフリブ板厚の組み合わせに依らず、き裂進展の傾向とそれに対するひずみの変化傾向に大きな違いがないことがわかる。

以上のように、デッキプレートの板厚とトラフリブの板厚の組み合わせによらず、各ゲージ位置でのひずみ振幅の変化傾向と UT による板厚欠損率の変化傾向は一定の対応関係にあることがわかる。

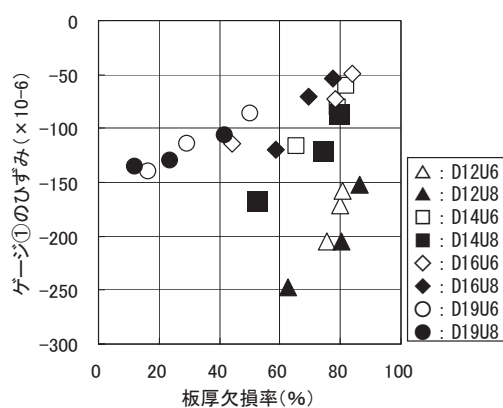
そのためいずれのケースにおいても本疲労試験によるき裂の進展過程は同様であり、き裂発生時期（载荷回数）と進展速度のみがデッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせに応じて異なっていたものと推定される。

図 3.2.167, 168 に、全てのゲージについて UT による推定板厚欠損率とそのときのひずみ振幅の関係を示す。

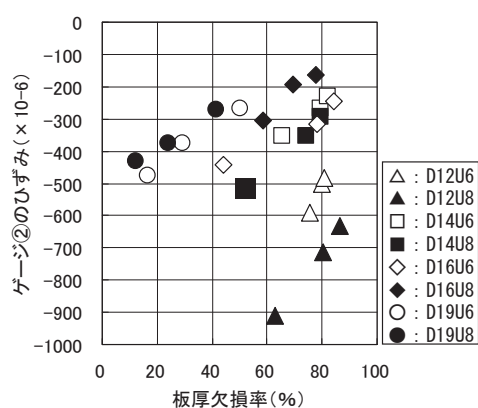
ゲージ①, ②, ⑤, ⑥, ⑦, ⑨ではそれぞれのケースについて比較的、板厚欠損率に応じてひずみ振幅に変化が生じる関係が現れている。

そのうち、ゲージ①, ②, ⑥, ⑦, ⑨ではデッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせによって、板厚欠損率に対応したひずみ振幅の値に差があり、デッキプレートとトラフリブいずれも板厚が大きいほどひずみ振幅が大きく、板厚欠損率が大きくなるにつれてその差は小さくなるため欠損率の変化に対するひずみ振幅の値の変化は板厚が小さいものほど大きくなる傾向が見られる。

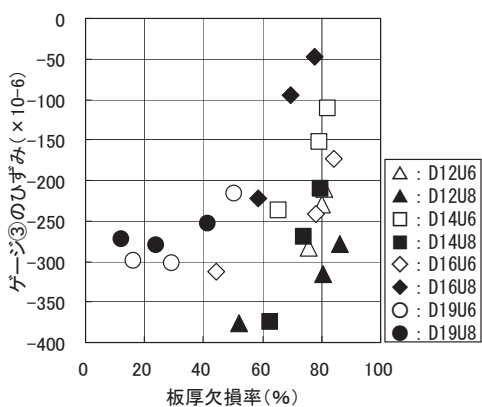
一方、ゲージ⑤ではデッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせに依らず、板厚欠損率に対応するひずみ振幅の絶対値が近似する結果となっている。そして板厚欠損率が 80%程度までき裂が進展するとケースによらずひずみ振幅が現れなくなるものと推測され、ゲージ⑤の位置ではき裂の進展に伴う耐荷力機構の変化によって応力負担されなくなるものと考えられる。



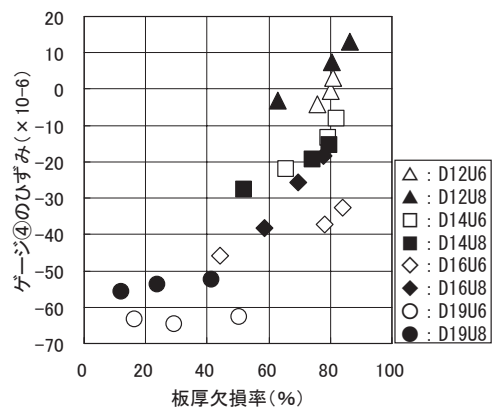
(a) ゲージ①



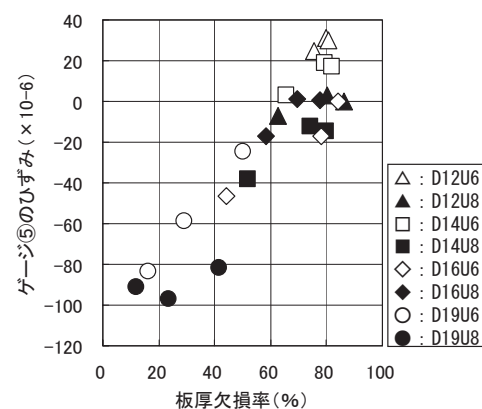
(b) ゲージ②



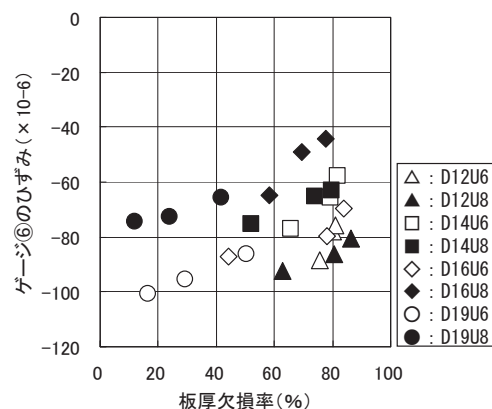
(c) ゲージ③



(d) ゲージ④

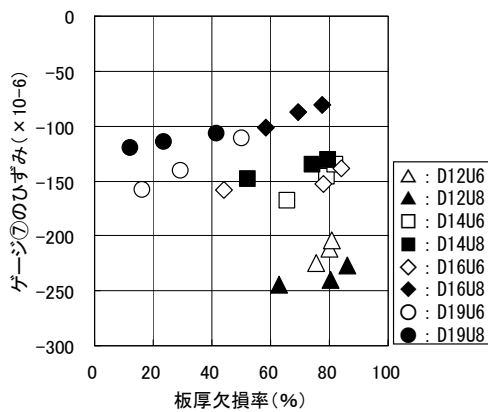


(e) ゲージ⑤

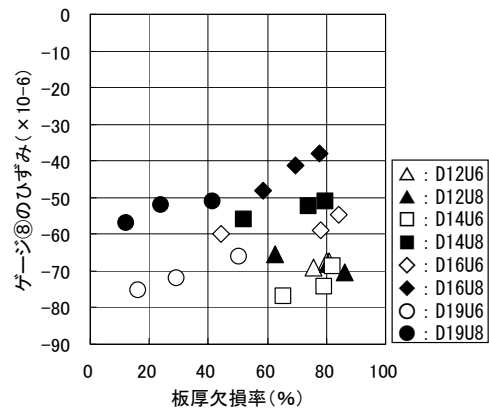


(f) ゲージ⑥

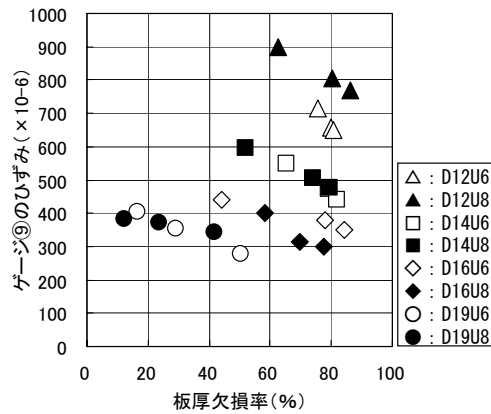
図 3.2.167 ひずみ振幅と板厚欠損率の関係(1)



(g) ゲージ⑦



(h) ゲージ⑧



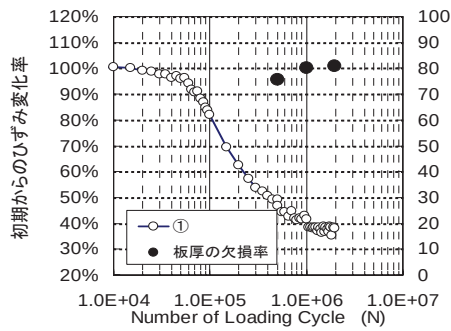
(i) ゲージ⑨

図 3.2.168 ひずみ振幅と板厚欠損率の関係(2)

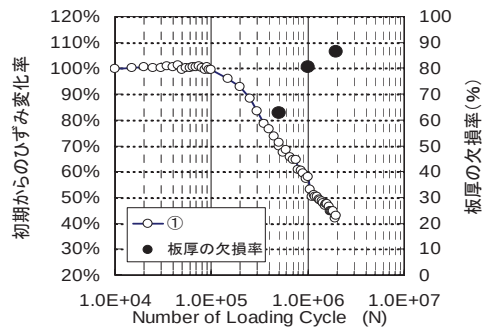
以上のように、デッキプレートの板厚とトラフリブの板厚の組み合わせによらず、同じ位置で計測されるひずみ振幅の変化傾向は推定されたき裂の進展に程度に対応して概ね一致したものとなる。このことから、各ケースとも裂進展過程は現象的にはほぼ一致しているものと考えられる。

次に、デッキプレートとトラフリブの板厚の異なる組み合わせに対して、ひずみ振幅の変化の程度によって、予測されるき裂進展のどの段階に至っているのが推定可能かどうかという観点から、繰り返し载荷による初期状態からのひずみ振幅の変化率と超音波探傷検査によって推定した板厚欠損率の推移の対応関係を整理した。

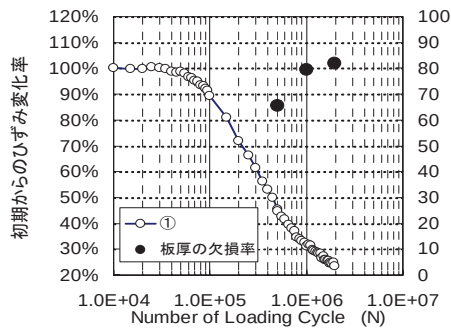
結果の結果を図 3.2.169～177 に示す。また板厚欠損率とひずみ振幅の初期状態からの変化率の対応関係を図 3.2.178, 179 に示す。



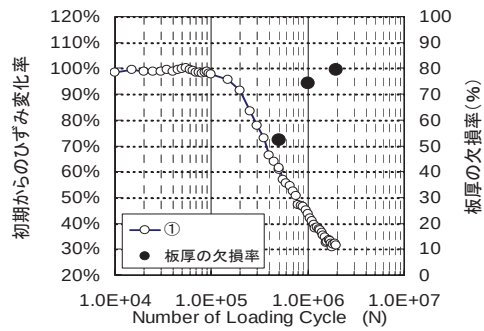
(a) D12U6



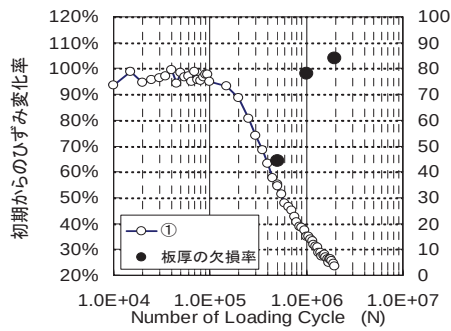
(b) D12U8



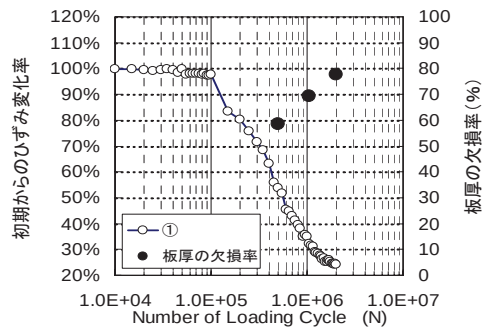
(c) D14U6



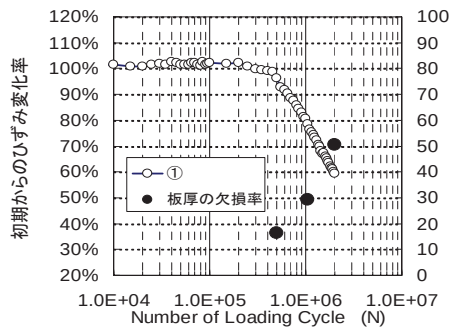
(d) D14U8



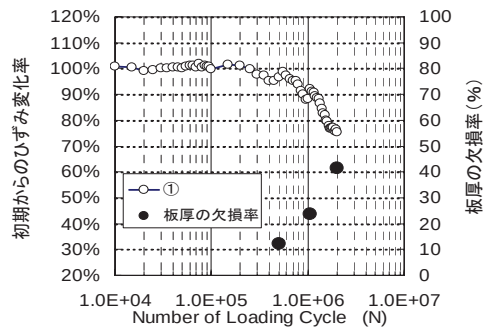
(e) D16U6



(f) D16U8

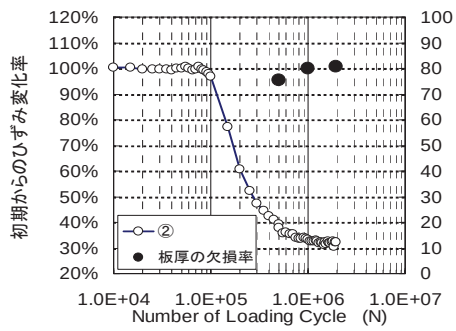


(g) D19U6

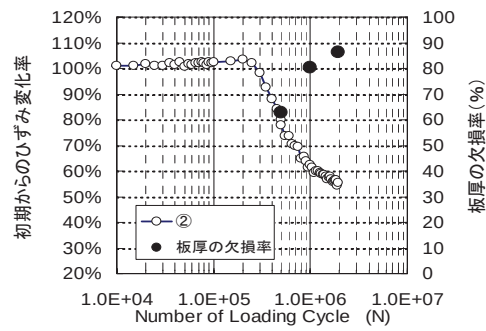


(h) D19U8

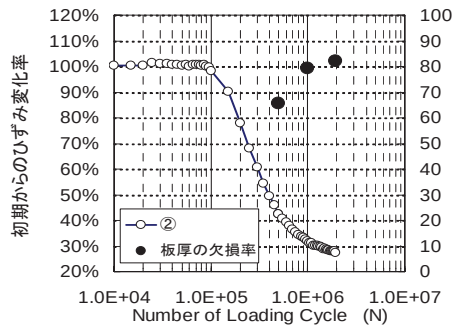
図 3.2.169 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ①)



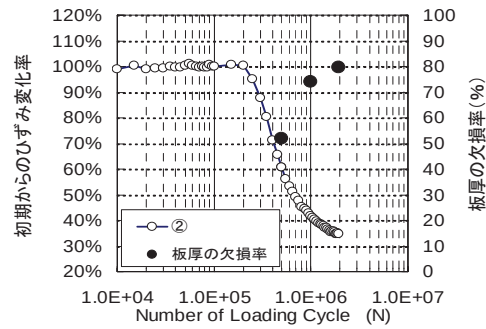
(a) D12U6



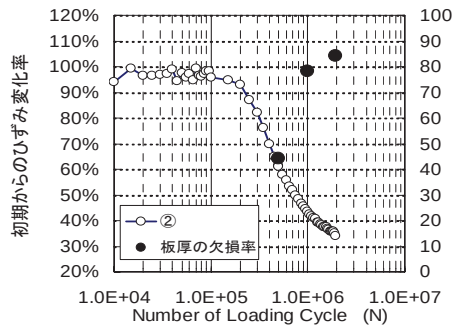
(b) D12U8



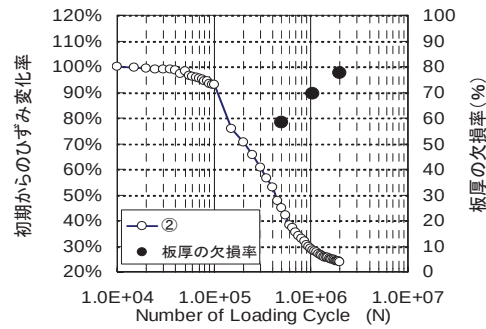
(c) D14U6



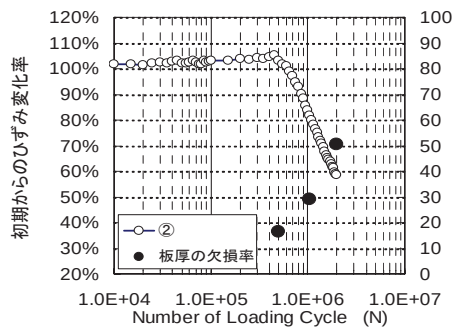
(d) D14U8



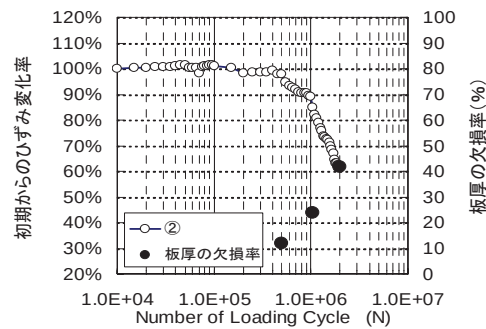
(e) D16U6



(f) D16U8

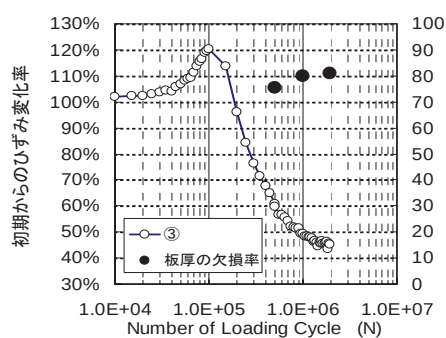


(g) D19U6

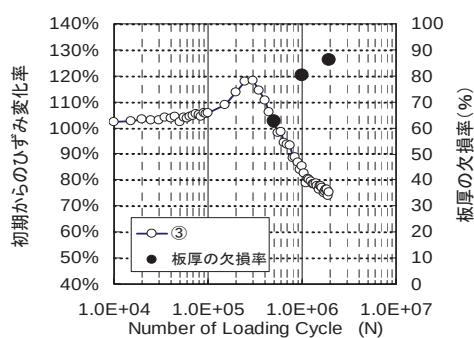


(h) D19U8

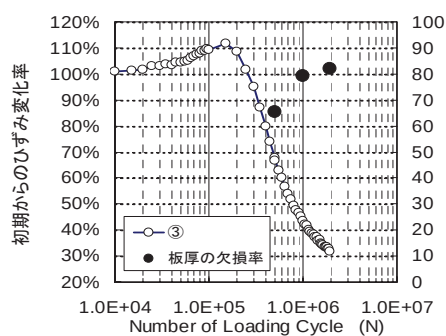
図 3.2.170 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ②)



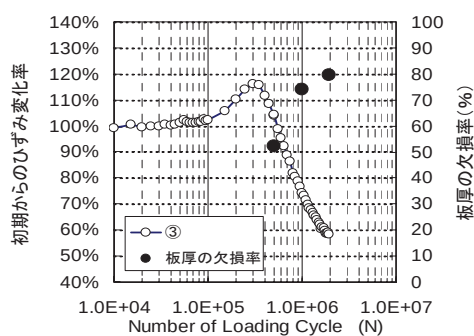
(a) D12U6



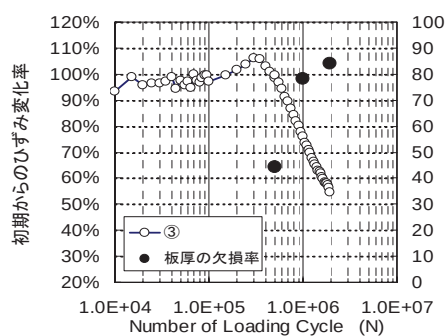
(b) D12U8



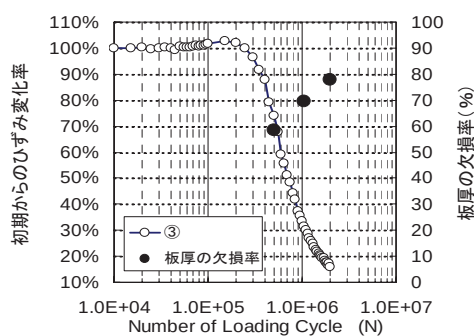
(c) D14U6



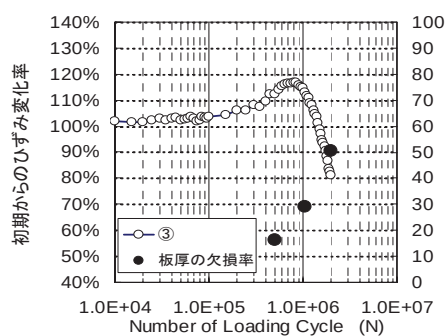
(d) D14U8



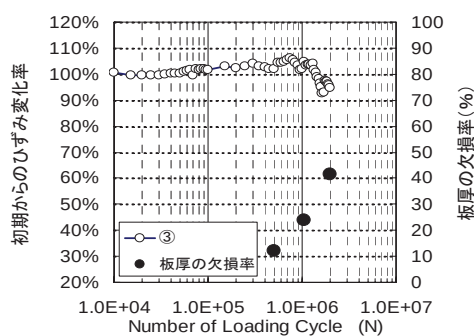
(e) D16U6



(f) D16U8

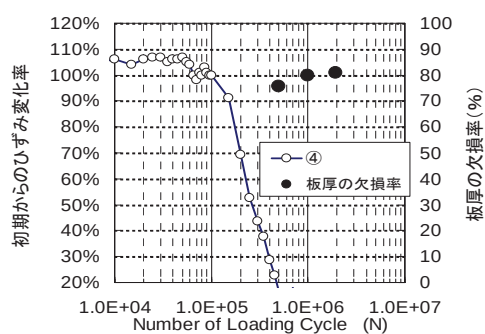


(g) D19U6

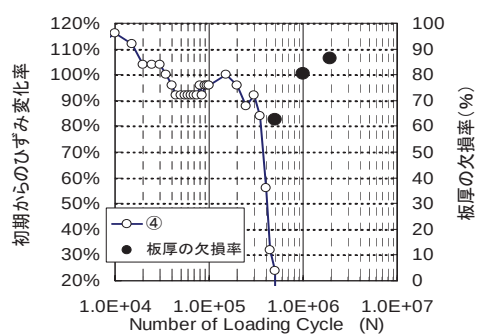


(h) D19U8

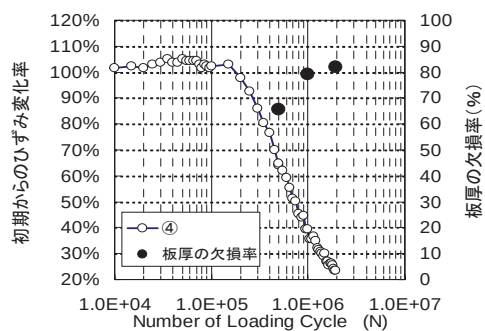
図 3.2.171 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ③)



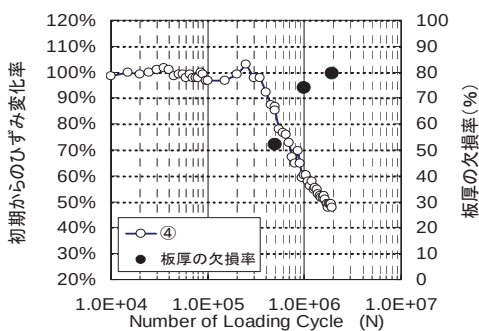
(a) D12U6



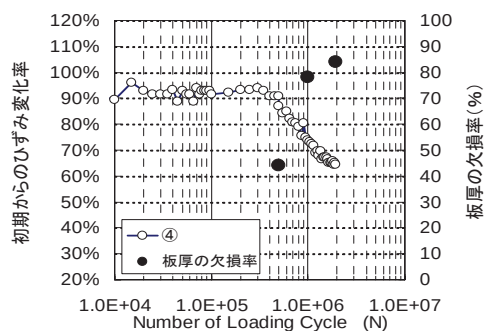
(b) D12U8



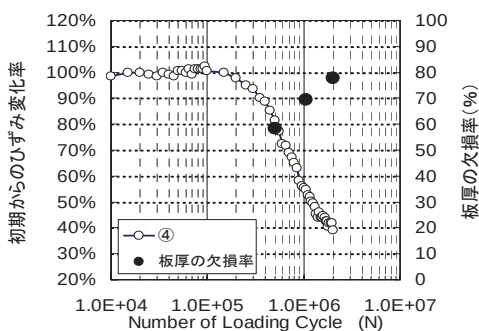
(c) D14U6



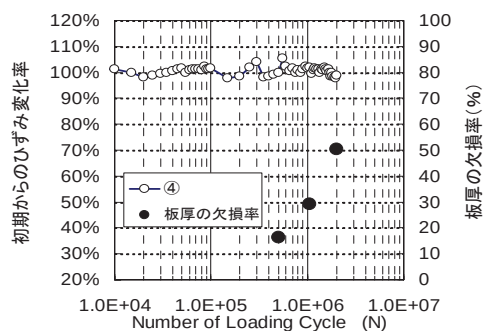
(d) D14U8



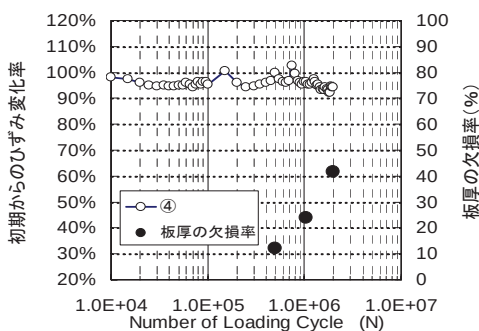
(e) D16U6



(f) D16U8

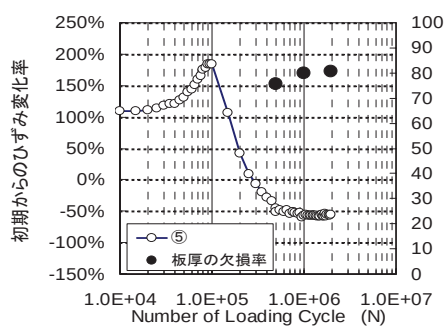


(g) D19U6

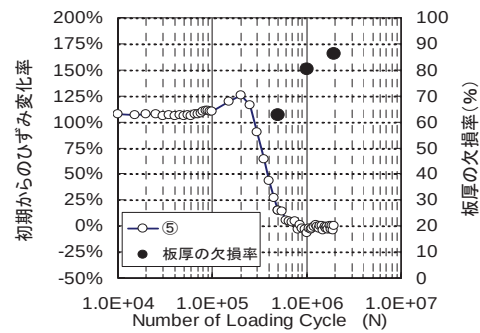


(h) D19U8

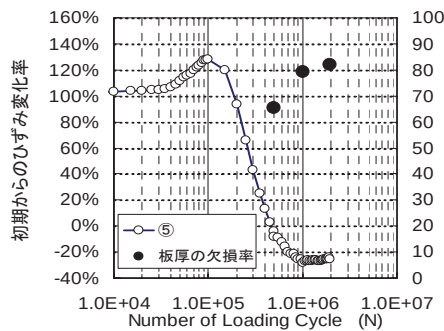
図 3.2.172 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ④)



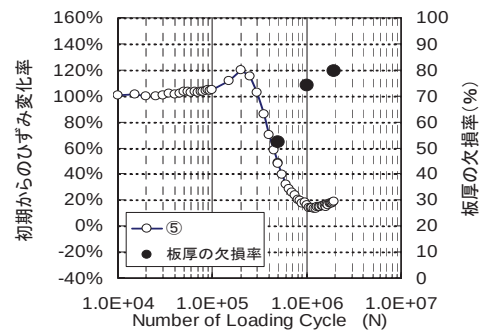
(a) D12U6



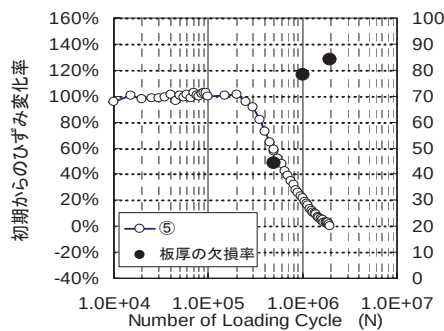
(b) D12U8



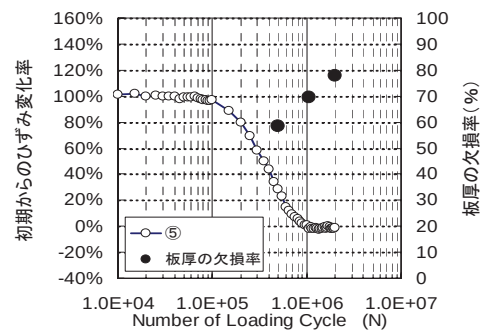
(c) D14U6



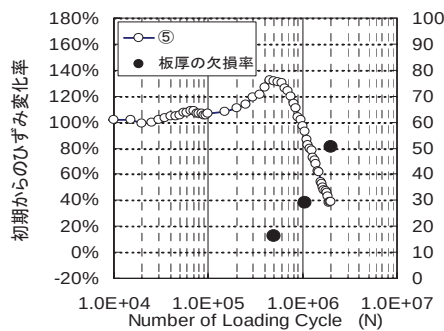
(d) D14U8



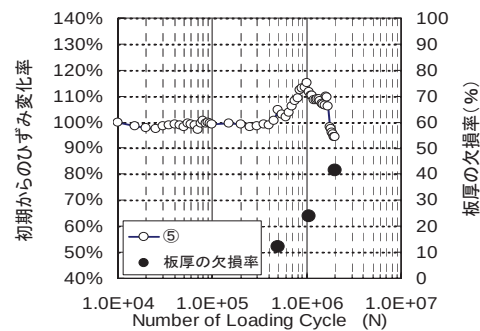
(e) D16U6



(f) D16U8

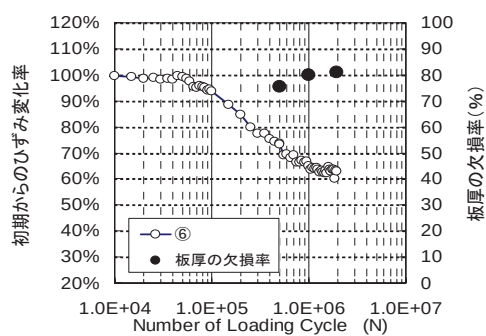


(g) D19U6

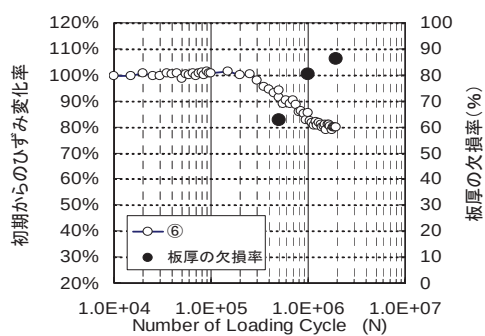


(h) D19U8

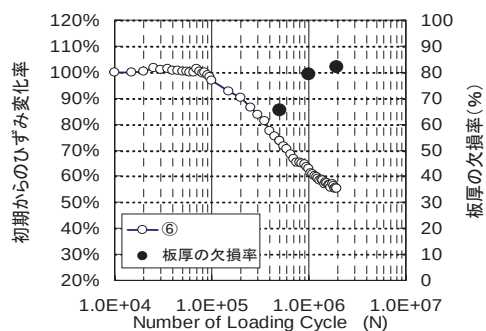
図 3.2.173 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑤)



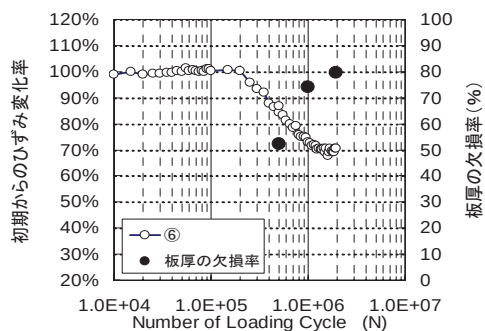
(a) D12U6



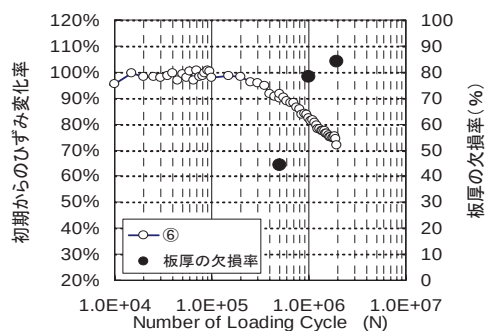
(b) D12U8



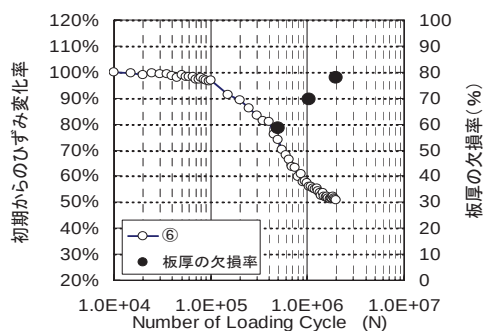
(c) D14U6



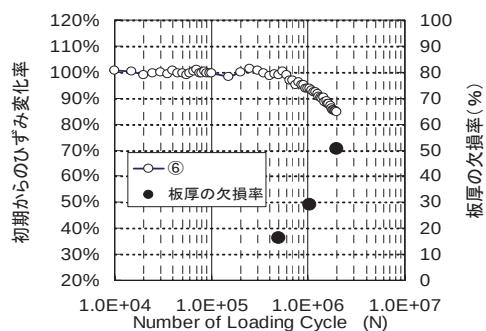
(d) D14U8



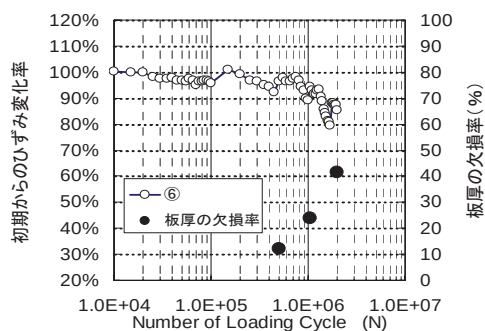
(e) D16U6



(f) D16U8

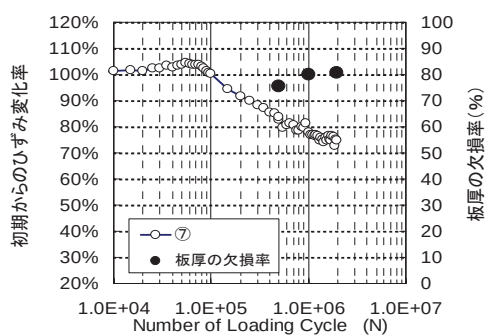


(g) D19U6

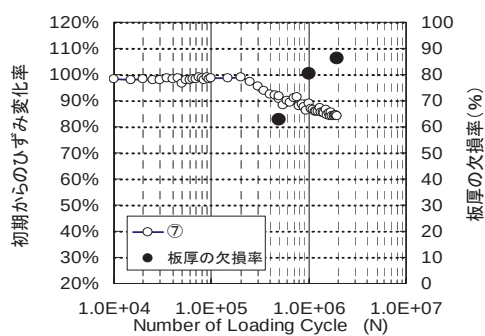


(h) D19U8

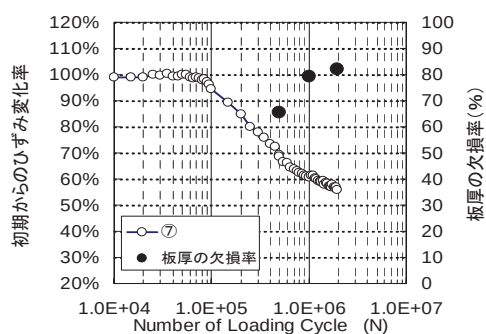
図 3.2.174 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑥)



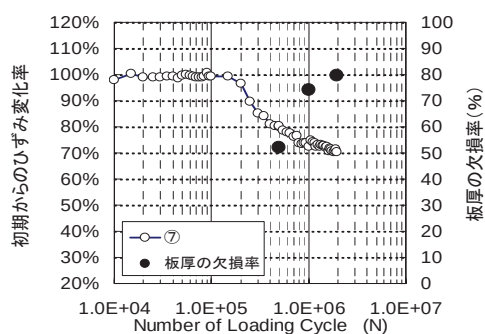
(a) D12U6



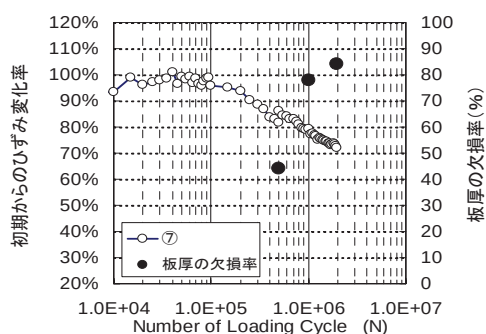
(b) D12U8



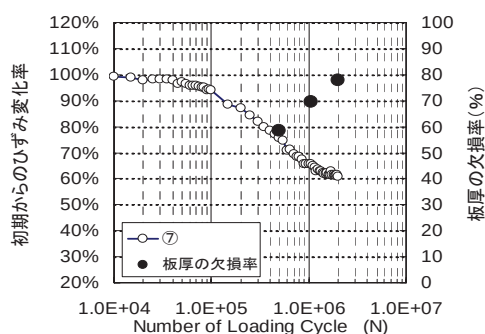
(c) D14U6



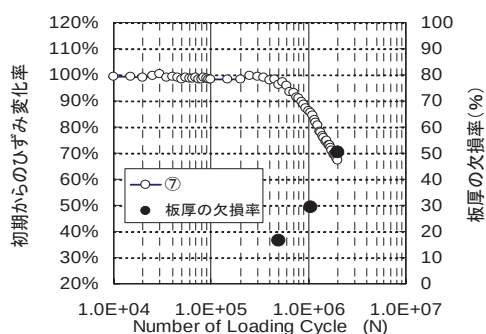
(d) D14U8



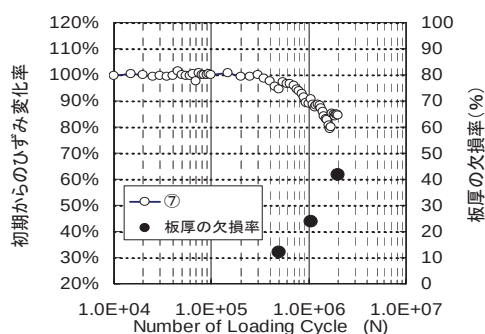
(e) D16U6



(f) D16U8

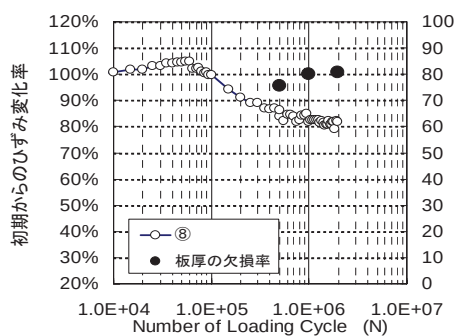


(g) D19U6

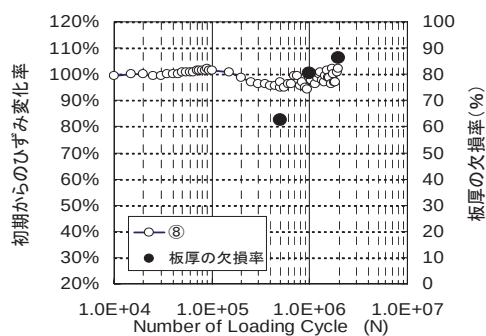


(h) D19U8

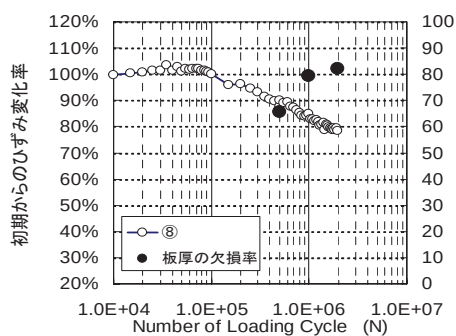
図 3.2.175 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑦)



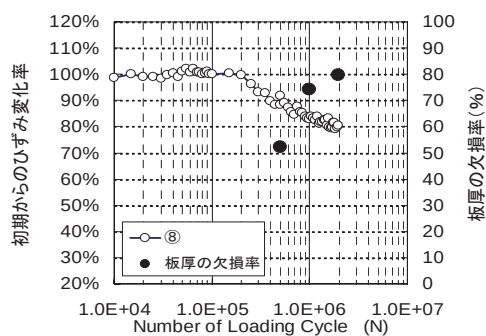
(a) D12U6



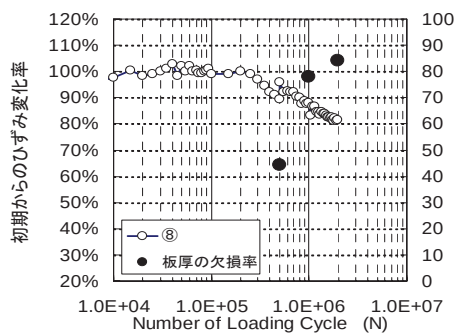
(b) D12U8



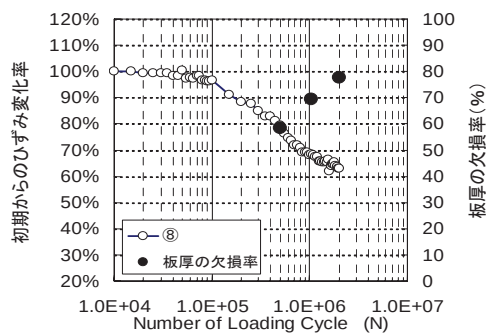
(c) D14U6



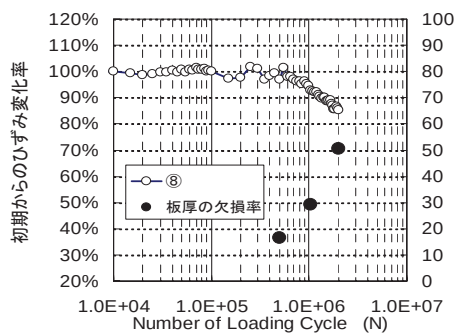
(d) D14U8



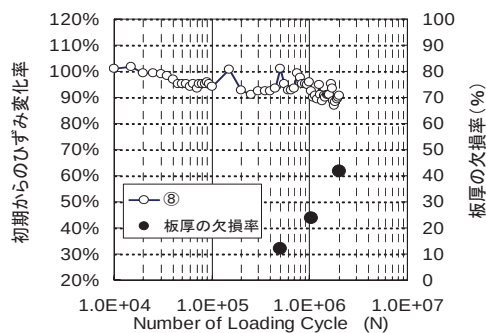
(e) D16U6



(f) D16U8

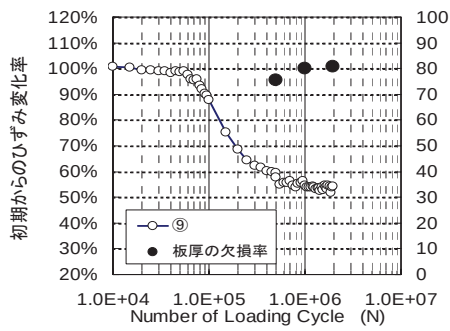


(g) D19U6

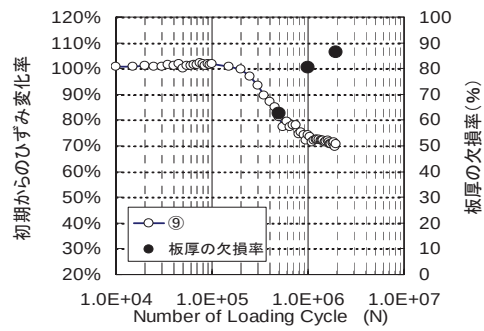


(h) D19U8

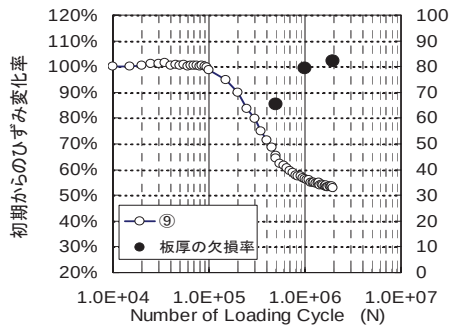
図 3.2.176 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑧)



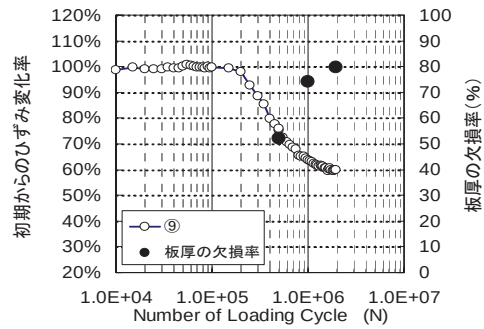
(a) D12U6



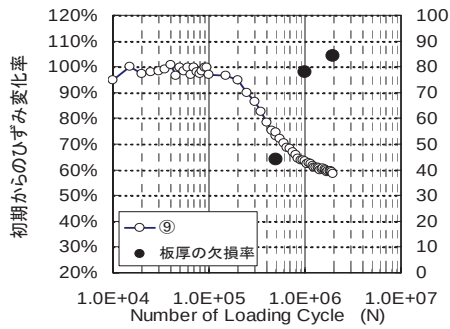
(b) D12U8



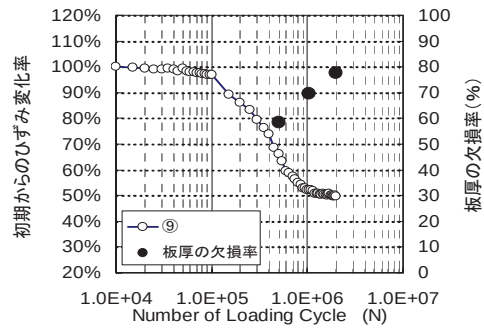
(c) D14U6



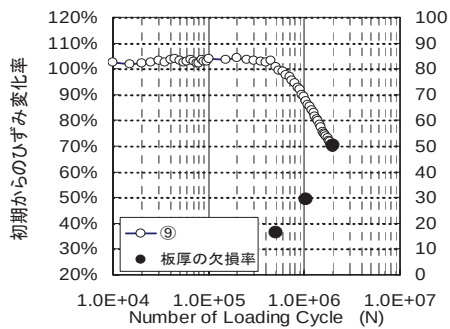
(d) D14U8



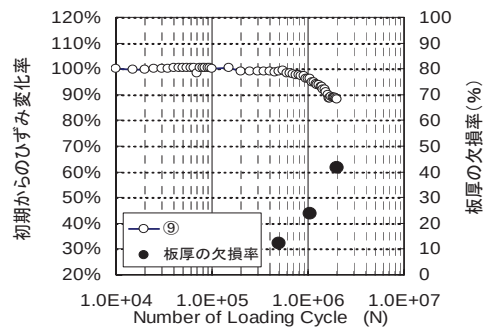
(e) D16U6



(f) D16U8

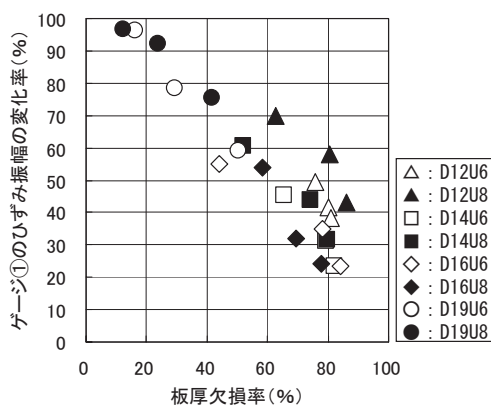


(g) D19U6

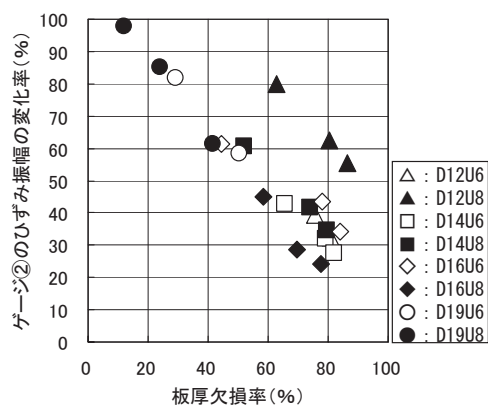


(h) D19U8

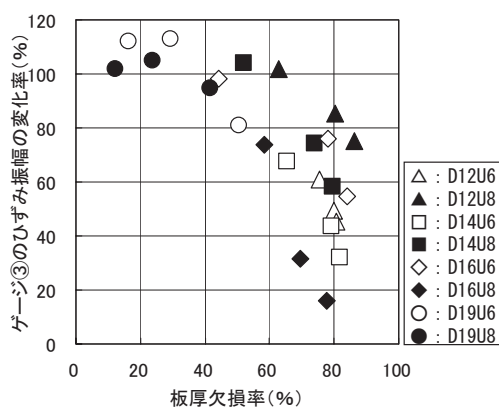
図 3.2.177 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の推移 (ゲージ⑨)



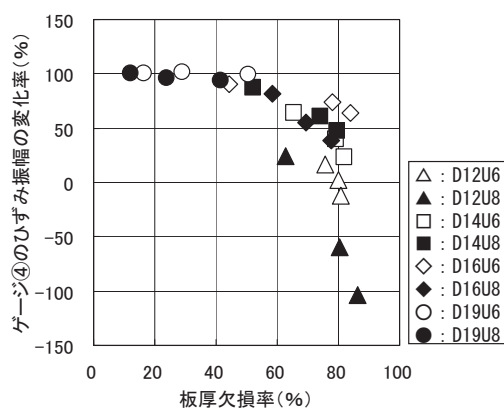
(a) ゲージ①



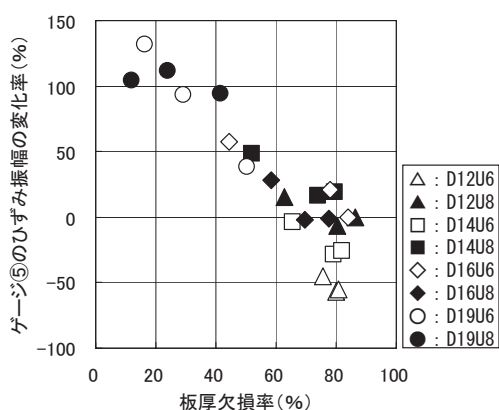
(b) ゲージ②



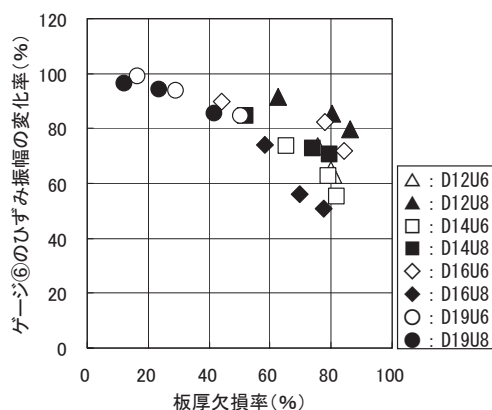
(c) ゲージ③



(d) ゲージ④

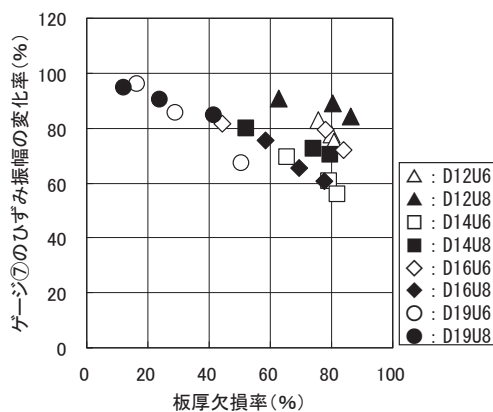


(e) ゲージ⑤

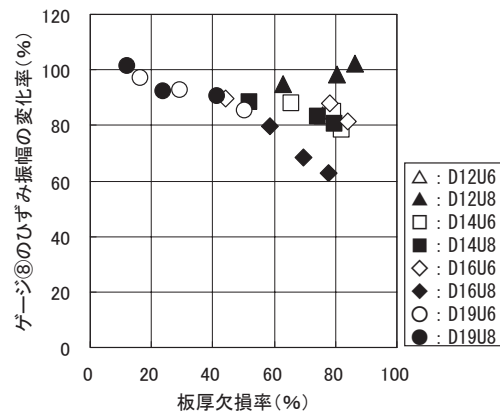


(f) ゲージ⑥

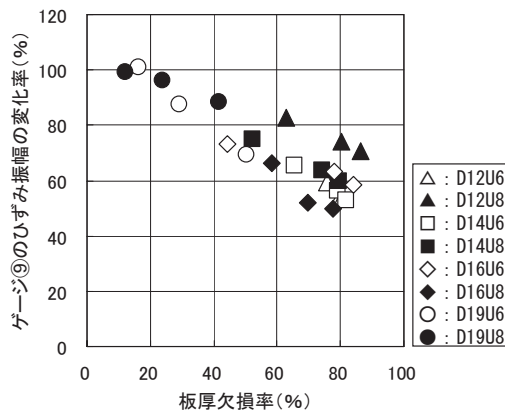
図 3.2.178 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の関係(1)



(g) ゲージ⑦



(h) ゲージ⑧



(i) ゲージ⑨

図 3.2.179 ひずみ振幅の変化率と板厚欠損率の関係(2)

以上より、ゲージ①、②、⑤、⑥、⑦、⑨では、板厚欠損率と各ゲージの初期状態からのひずみの変化率には強い相関が見られる。

特に、ゲージ①、②、⑤、⑨では、板厚欠損率が比較的小さい領域でも、板厚欠損率に応じて初期状態からのひずみ変化率が明確に変化することから、デッキプレート貫通型き裂が発生した後、比較的早い段階でき裂発生前との明確な差が確認できる可能性がある。

またゲージ①、②、⑨では初期状態では安定したある程度の規模のひずみ振幅が計測され、かつ板厚欠損率が 50%を越える段階では、ひずみ振幅が初期状態の 50%程度に顕著に減少することからき裂の進展状態の推定に有効な情報を与えるものと考えられる。

一方、ゲージ⑤、⑥は、初期段階よりひずみ振幅の値が小さく、その値の低減程度から板厚欠損の進展程度を特定することは困難が予想される。なおゲージ⑤はひずみ振幅が板厚欠損率が大きくなるとその値がゼロに近似することから、これにより鋼床版としての耐荷力機構に致命的な板厚欠損を生じているか否かの推定に有効と考えられる。

3.2.7 疲労試験結果のまとめ

デッキプレート板厚とトラフリブ板厚の組み合わせを変えて行った、鋼床版横リブ交差部の部分供試体による定点疲労载荷試験により得られた主な結果は以下のとおり。

(1) き裂進展の特徴

- ・デッキプレート板厚（12, 14, 16, 19mm）とトラフリブ板厚（6, 8mm）の範囲では、組合わせによらず本試験方法によって、デッキプレートとトラフリブの縦溶接継手のルート部付近を起点として、デッキプレート内部をデッキプレート貫通方向に進展するき裂が発生し、载荷回数とともに拡大した。

- ・载荷回数毎の UT によるき裂進展状況からは、载荷回数 50 万回において、デッキプレート板厚が小さい供試体では既にき裂が相当に進行した段階となっており、デッキプレート板厚が厚いケースではより初期段階となっている。また载荷を終了した 200 万回時点でデッキプレート板厚が小さい供試体ではデッキプレート貫通直前段階までき裂が進行している一方、デッキプレート板厚 19mm のケースではき裂拡大速度の鈍化前であり引き続き载荷を継続することでさらにき裂の進展が生じたものと推定される。

- ・き裂範囲の拡大傾向は、組合わせに依らず近似しており、総じて板厚が大きい組合わせほど同じ载荷回数段階におけるき裂進展程度が小さく、板厚増によるき裂進展抑制効果（疲労耐久性向上効果）があるものと考えられる。なおデッキプレート板厚に比べてトラフリブ板厚のき裂進展抑制効果は明確でなく、認められた場合もその程度は小さい。

- ・各ケースから、本試験で発生したデッキプレート貫通方向に進展するき裂では共通的に次のような特徴を有するものと考えられる。

- ・デッキプレート貫通に至るまで、き裂進展速度は一様ではなく、ある段階からそれ以前よりも鈍化する。
- ・鋼床版断面内のき裂進展方向は一様でなく、初期段階では傾きが小さく（き裂進展の比較的初期段階が計測されたと考えられる D19 からの推定）、き裂範囲の拡大とともにやや上向きに進展方向が変わり、デッキプレートの板厚の 80%程度が欠損した時点では、起終点を結ぶ線が概ね $40\sim 60^\circ$ 程度の傾きとなる。

- ・デッキプレート表面からの超音波探傷試験によるき裂範囲の推定結果は破面観察結果とよい一致を示し、特にデッキプレート内部へのき裂進展深さ（z）の結果はほぼ一致した。

このことから、条件によっては超音波探傷試験によりデッキプレート貫通き裂による板厚欠損の程度は精度よく推定できる可能性が高いと考えられる。

(2)鋼床版各部の挙動

定点の繰り返し載荷に対して、横リブ交差部のデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手のルート部を起点として生じるデッキプレート貫通き裂の進展過程とそれとともに鋼床版各部のひずみなどの挙動について確認された主な結果は次の通りである。

1) デッキプレートの板厚とトラフリブの板厚の組み合わせによらず、き裂進展過程は現象的にほぼ同様であり、概ね次の通りと推定される。

- ・デッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせによらず、はじめにデッキプレートとトラフリブの縦溶接部のビード部近傍にき裂が発生して上方に向かって進展する。
- ・き裂の進展に伴ってトラフリブ間のデッキプレートの支持条件が変化するのに伴ってデッキの曲げによる応力振幅が減少する。

このときデッキプレート板厚の小さいケース（12mm，14mm）では③⑤の振幅が顕著に大きくなる傾向を示すため、デッキプレートの剛性が相対的に小さいためにUリブウェブがデッキの変形に追隨して下方向に圧縮される程度がより大きくなっている可能性がある。

- ・き裂範囲がさらに大きくなると⑤の値は徐々に小さくなり、最終的にはどのケースでもほぼ0に近づく。これはこの段階になると、き裂が進展した横げた交差部直近のトラフリブのウェブには荷重の鉛直成分が伝達されにくくなっているものと考えられる。

この段階と期を同じくして橋軸方向を計測している⑪⑫⑬のゲージでそれまではほぼ0であった残留ひずみが急速に増加し始めることからこの時点で横げた交差部のUリブは輪荷重を模擬した集中荷重に対してデッキプレートとの協働作用が喪失したかその状態が大きく変化したものと考えられる。

2) デッキプレート貫通方向に向かうき裂の進展に伴い、き裂発生部位のデッキプレートとトラフリブで計測されるひずみには特徴的な応答の変化が生じ、目視可能な位置にデッキプレート貫通き裂が開口する以前にひずみ応答からき裂の進展状況を推定できる可能性がある。

例えば、ゲージ①，②，⑨の位置では板厚欠損率が50%を越える段階にまでき裂が進展すると、ひずみ振幅が初期状態の50%程度にまで顕著に減少し、初期の応答が明らかであればそれらと対比するか、同じ鋼床版の近くで明らかに健全と思われる同じ部位の応答との相対比較によってき裂の進展を推定できる可能性がある。

また、ゲージ⑤の位置ではデッキプレート貫通近くまでき裂が進展した段階ではひずみ応答がゼロに近づいてくることから、初期値が把握されていない場合にもき裂の顕著な進展を推定できる可能性がある。

3.3. 疲労耐久性の比較

3.3.1 概要

定点繰返し载荷試験では、横リブ交差部のトラフリブとデッキプレートとの縦溶接継手では板厚の組み合わせによらず、ルート部からデッキプレート内部を進展してデッキ上面に向かうきれつ損傷が徐々に拡大していくという損傷進展過程をたどるだけでなく、き裂の進展経路について、ルート部で発生したき裂が初期は水平に近い方向で拡大し、ある程度進展したのちに徐々に上向きに方向を変えてさらに拡大していくという傾向についても概ね共通していると推定される結果となった。

また、トラフリブとデッキプレートの板厚の相違によって、同じ荷重の载荷繰返しに対する、き裂の発生時期や進展速度には差異がみられ、疲労耐久性が板厚の組み合わせによって左右されるものと考えられた。

溶接継手の疲労耐久性は、一般に継手の形式毎に、特定の方向に作用する荷重の大きさとその繰返し回数の組み合わせに対してき裂の発生により継手性能が喪失する確率との関係で定義される。またこれらの疲労耐久性の定量的な評価基準は、疲労設計に用いられることからその便を考慮して、当該荷重に伴って発生する応力性状の変化について、各対象溶接部を含むある範囲の部材を「溶接継手」と捉えて、溶接線近傍の局所的な応力集中の影響を受けることなく、断面内の応力分布が平均化されている境界部での応力（公称応力）に対する変動応力振幅で表現される。

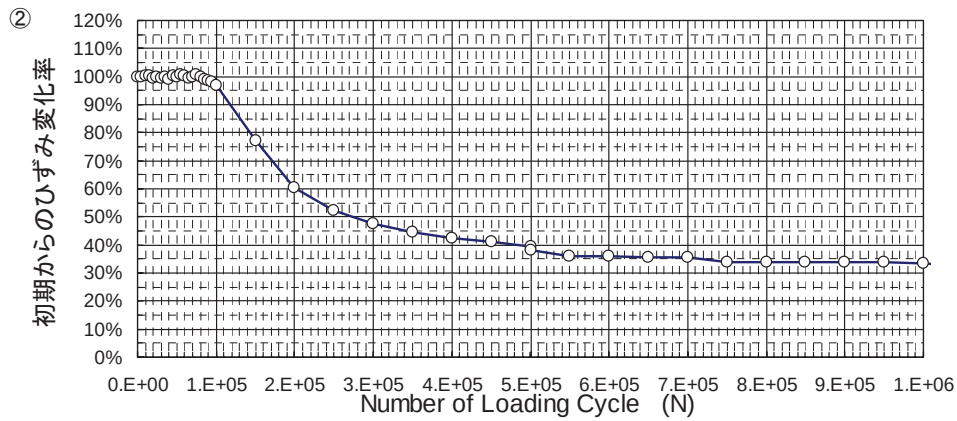
しかし、本研究で対象とする鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手のような、複雑な溶接構造でかつその継手構造として捉える範囲の境界部を、変動応力振幅とその方向として特定することが困難な場合には、着目部位の応力状態を代表できる公称応力のような平均的な応力を定義することができない。また道路橋の鋼床版では対象とする载荷荷重の大きさはある程度の範囲に限定できるものの、载荷位置を特定することが困難であることから照査荷重を設定することも困難である。

以上を踏まえて、本研究ではこの疲労き裂に対して共通的に適用できる疲労耐久性の評価手法を検討するために、き裂進展過程の一般化と、設計上の要求性能との関係や維持管理の観点で着目すべき各段階に対する疲労耐久性について、荷重条件が同じである定点疲労载荷試験結果に対してトラフリブとデッキプレートの板厚の組合せに着目して比較を行う。

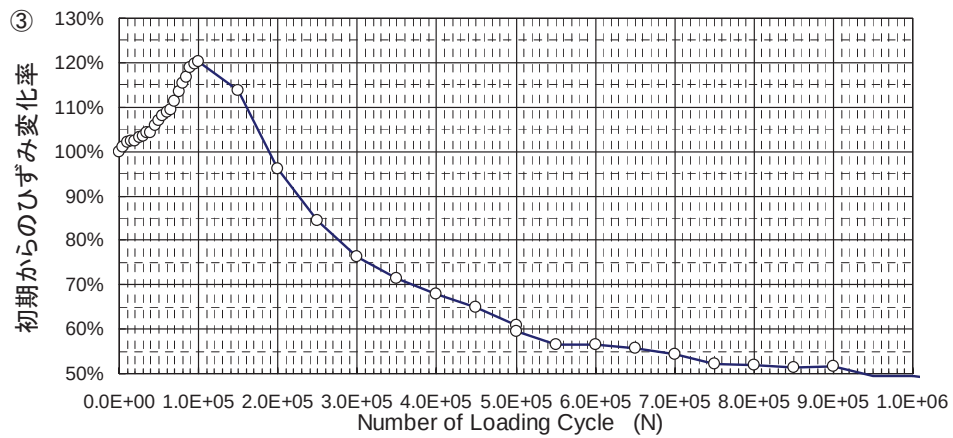
3.3.2 状態変化点の整理

き裂の進展に伴って耐荷力特性に現れる変化をいくつかの段階に区分することで、同じ定義の状態変化点を仮定し、各状態変化点に達するまでに要する載荷回数によって各ケースの疲労耐久性の相対比較を行う。

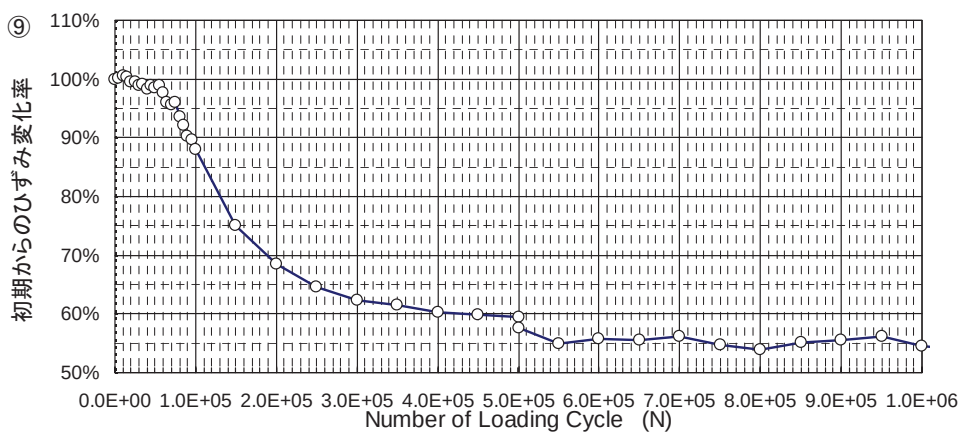
状態変化点の設定にあたっては、比較の信頼性の観点から比較的明確な応答の変化が現れる部位のひずみに着目することが適当であり、ここではゲージ②、③、⑨に着目することとした。各ケースのゲージ②③⑨について、ひずみ振幅の初期段階からの変化率と載荷回数の関係を図 3.3.1～図 3.3.8 に示す。



(a) ゲージ②

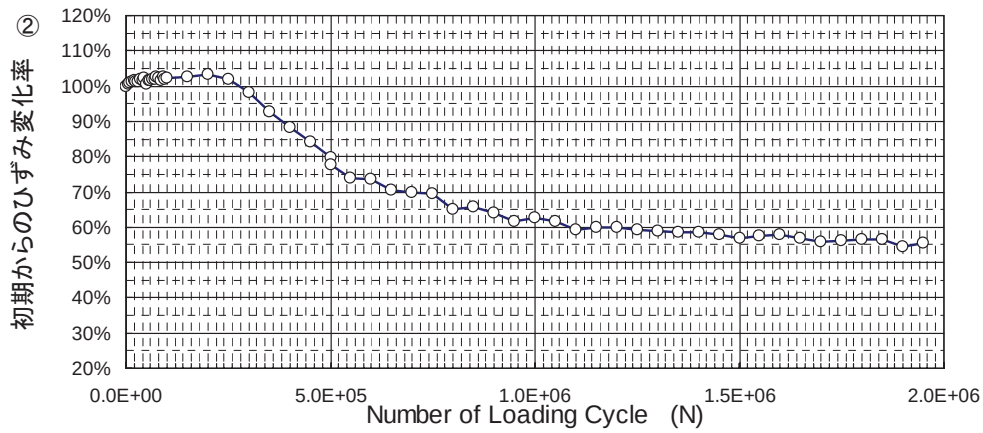


(b) ゲージ③

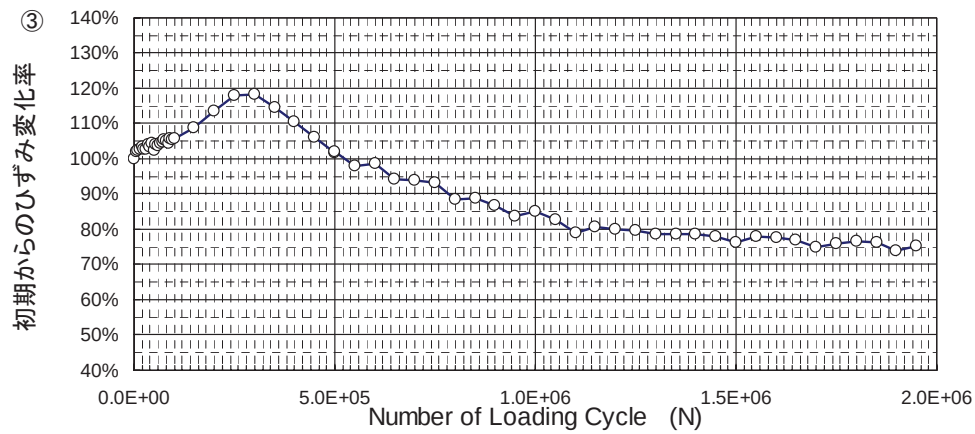


(c) ゲージ⑨

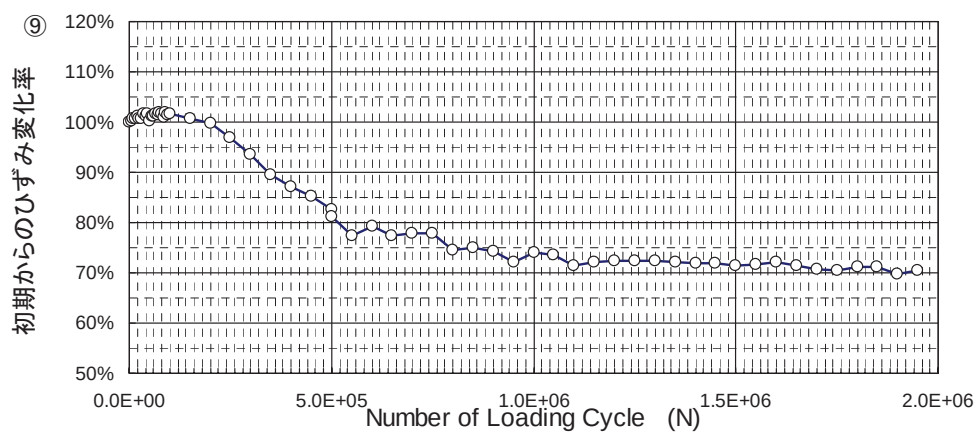
図 3.3.1 D12U6 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

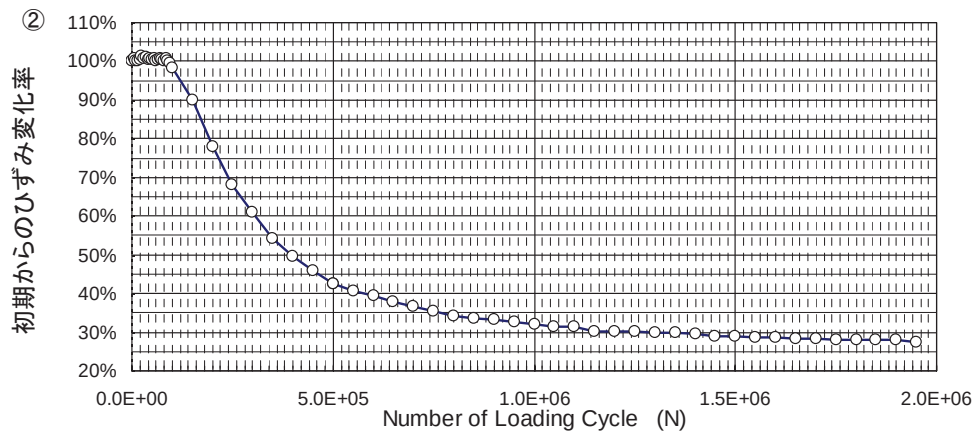


(b) ゲージ③

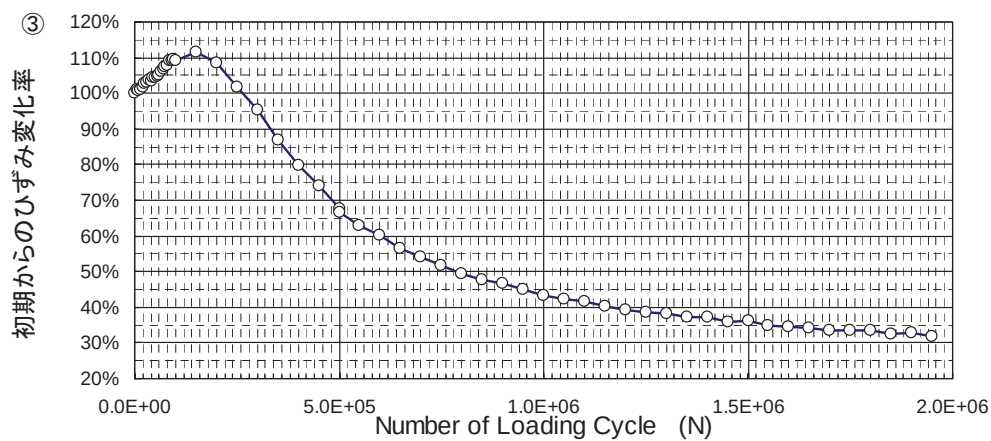


(c) ゲージ⑨

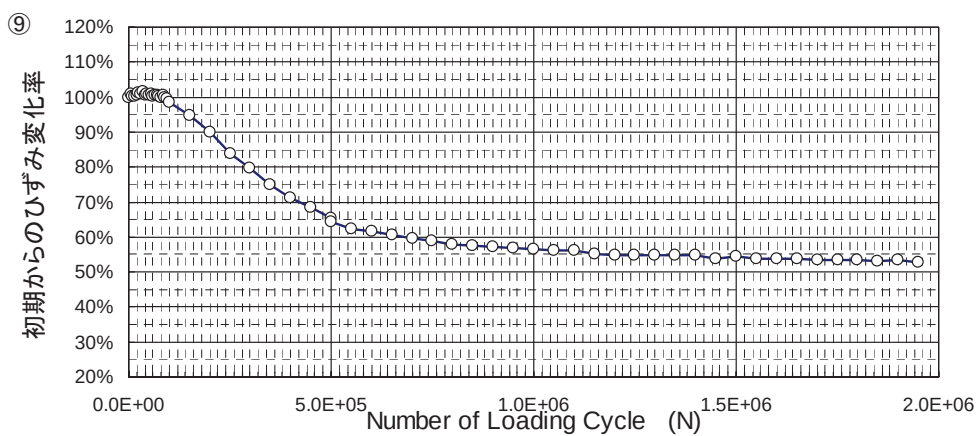
図 3.3.2 D12U8 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

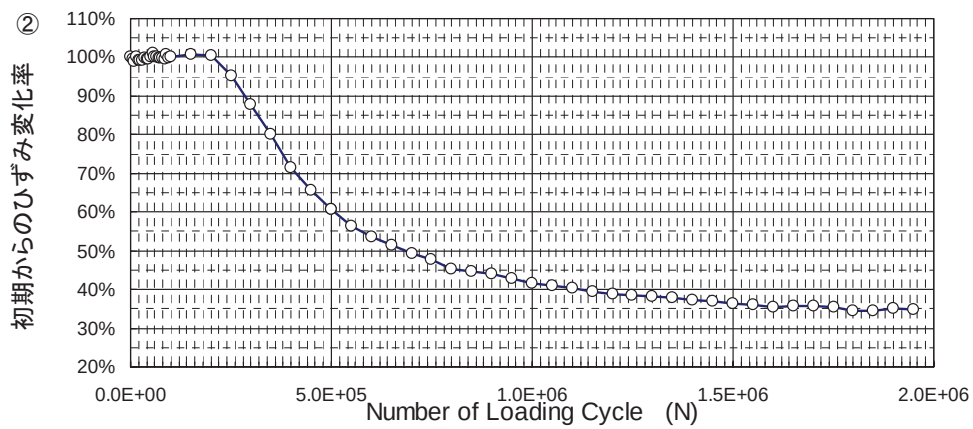


(b) ゲージ③

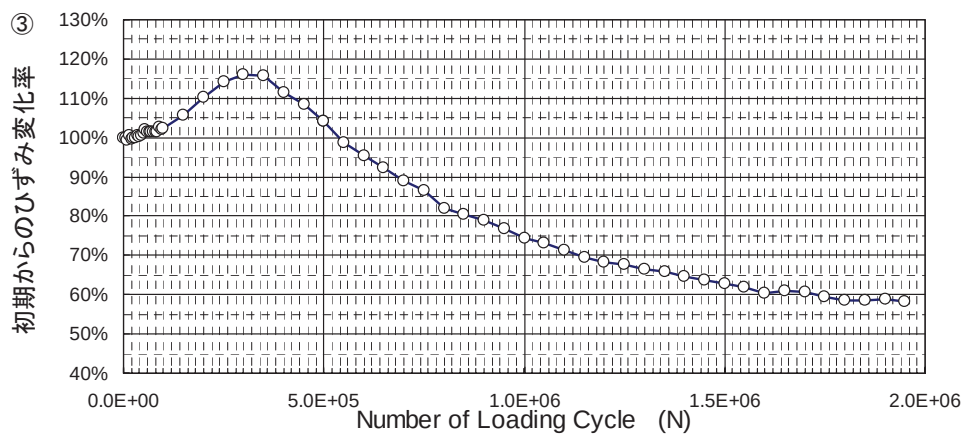


(c) ゲージ⑨

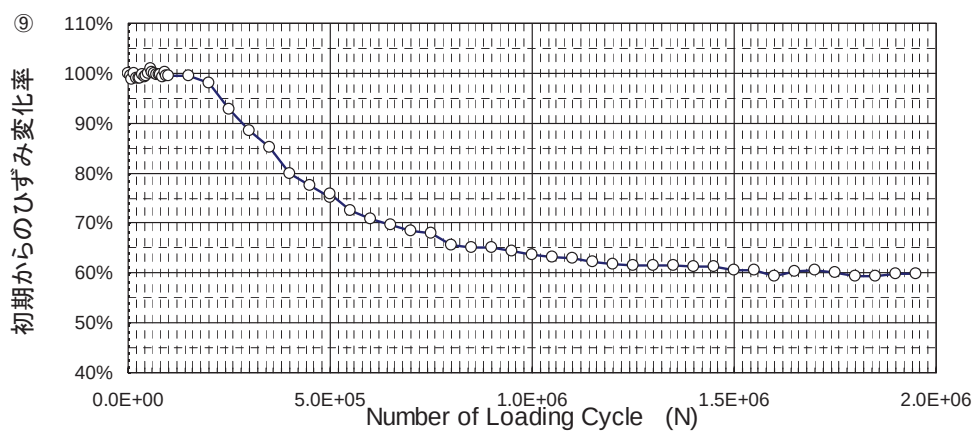
図 3.3.3 D14U6 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

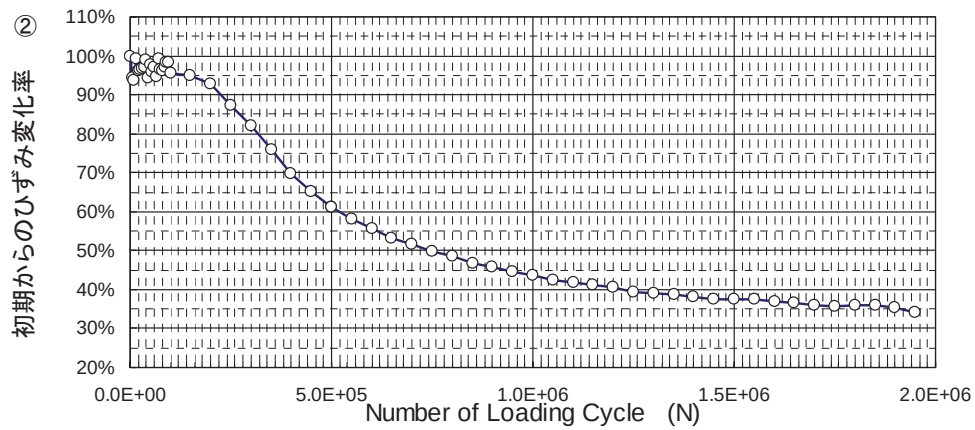


(b) ゲージ③

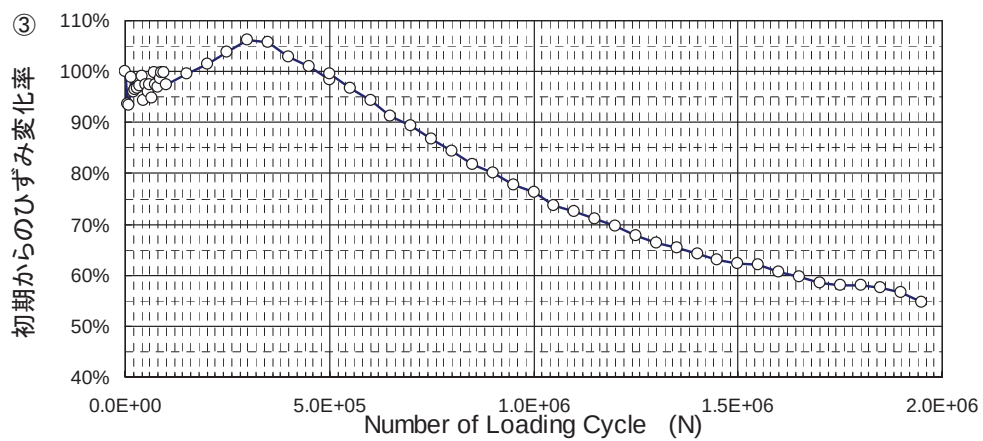


(c) ゲージ⑨

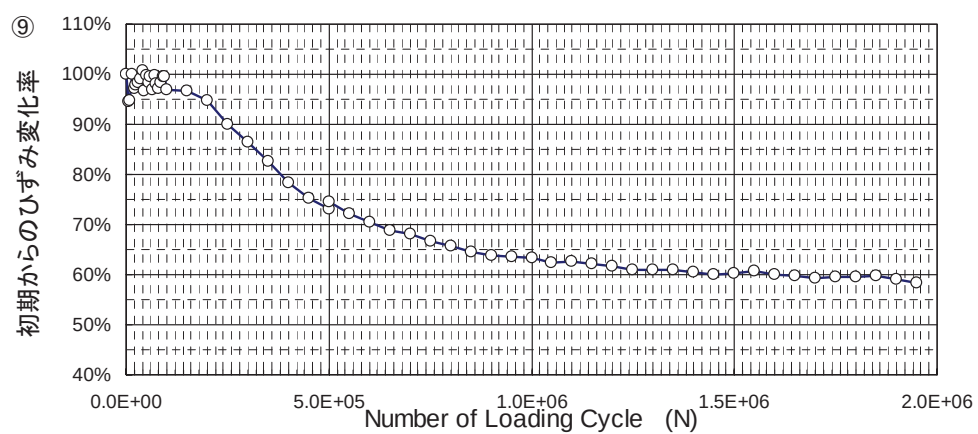
図 3.3.4 D14U8 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

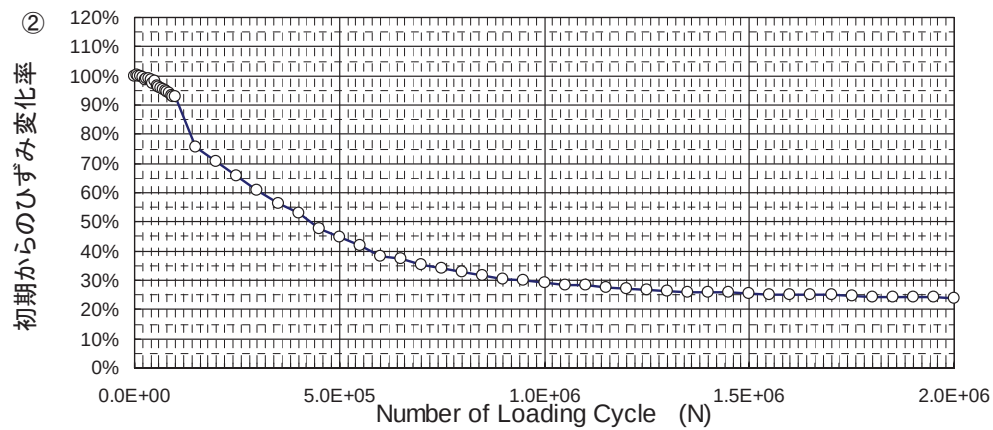


(b) ゲージ③

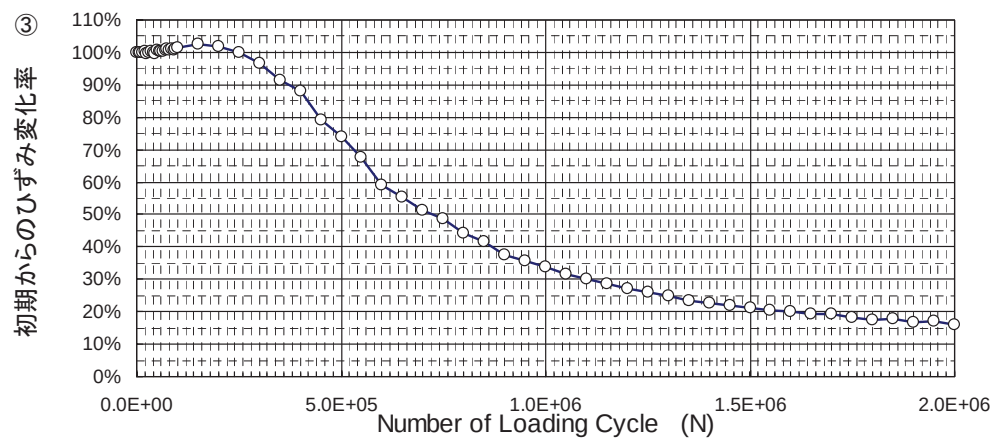


(c) ゲージ⑨

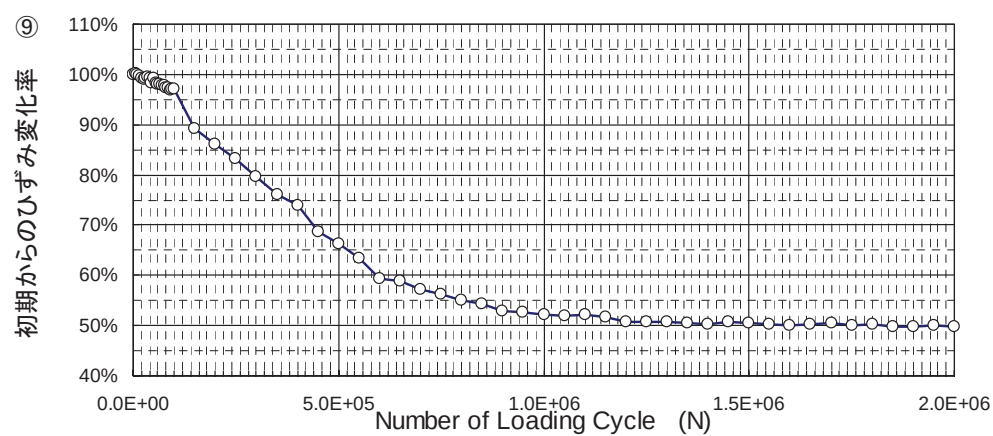
図 3.3.5 D16U6 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

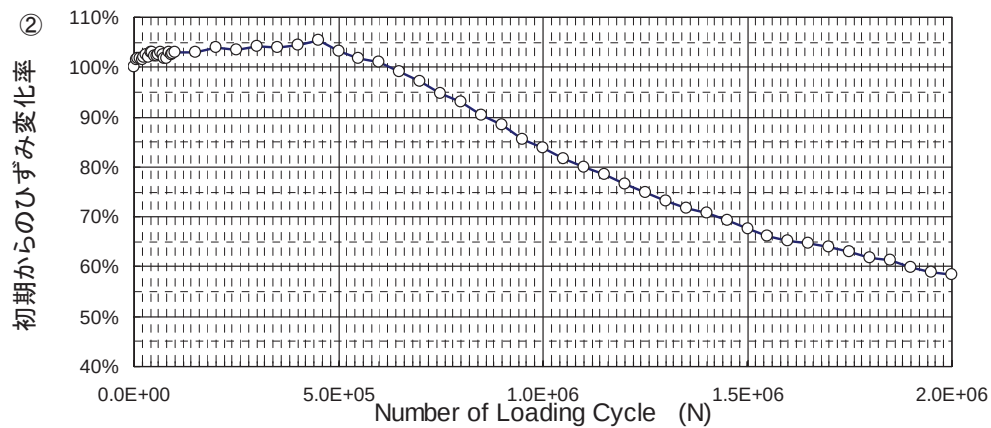


(b) ゲージ③

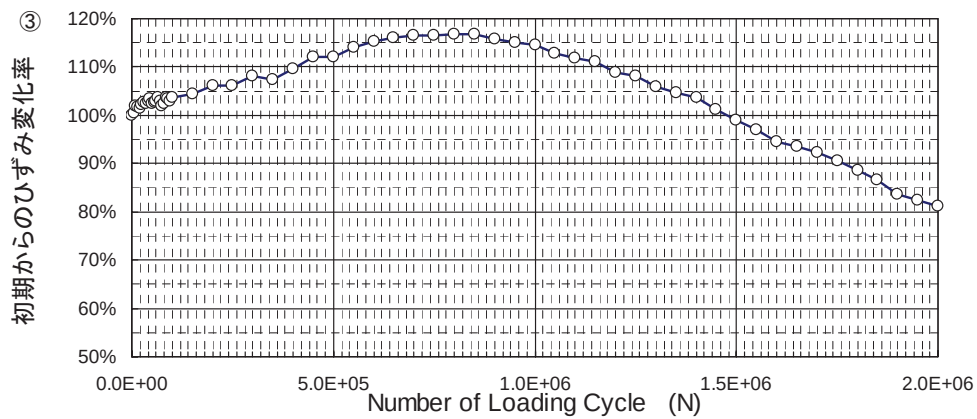


(c) ゲージ⑨

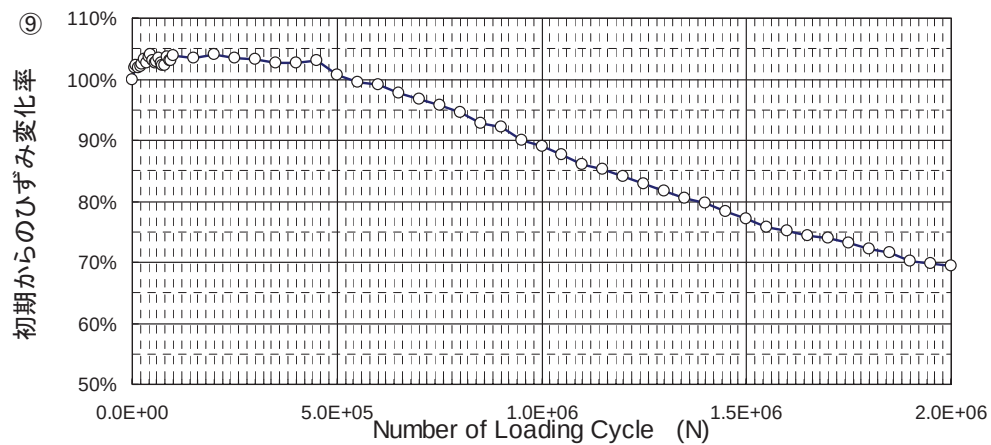
図 3.3.6 D16U8 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②

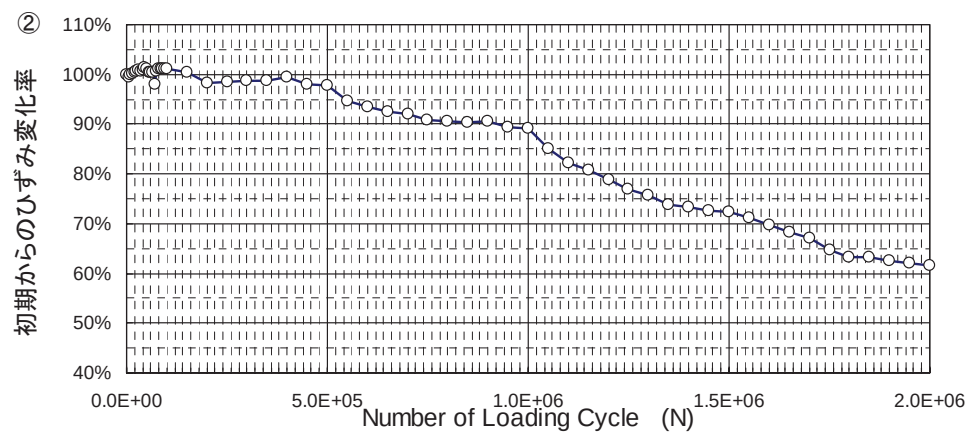


(b) ゲージ③

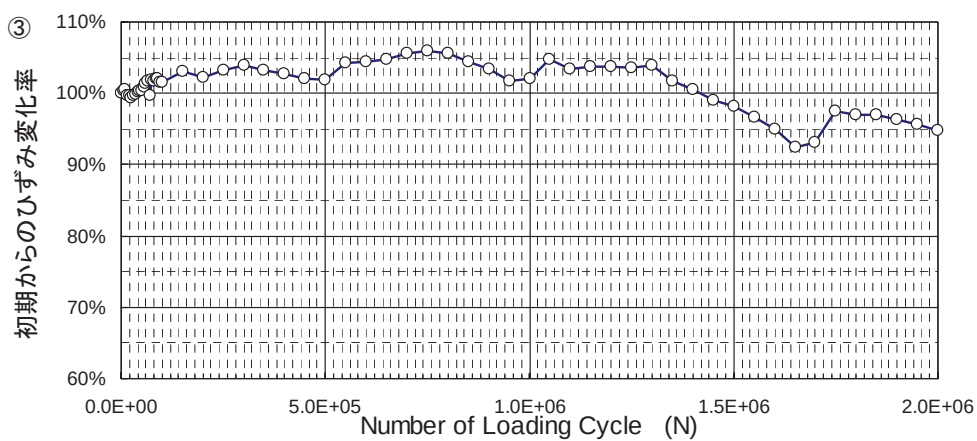


(c) ゲージ⑨

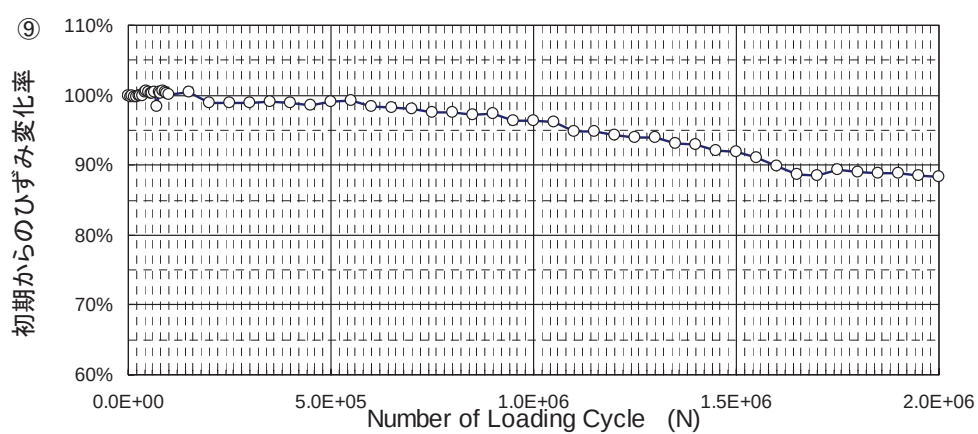
図 3.3.7 D19U6 のひずみ振幅の変化



(a) ゲージ②



(b) ゲージ③



(c) ゲージ⑨

図 3.3.8 D19U8 のひずみ振幅の変化

各ケースで計測されたひずみ振幅の変化傾向はゲージ毎に概ね一致した挙動を示す。疲労耐久性の評価基準の候補とする状態変化点として、ひずみ振幅の絶対値と変化量がともに比較的大きくかつき裂の進展の異なる段階に対応した複数の評価点を抽出するために次の A～C の 3 つの状態変化点を定義する。

各ケースで基本的に状態変化点は A→B→C の順に現れる。

・状態変化点 A：

⑨のゲージについて載荷当初のひずみ振幅に対して 5%の値の変化が生じた時点。

・状態変化点 B：

③のゲージについて載荷当初のひずみ振幅に対して減少側に 5%の値の変化を生じた時点。

・状態変化点 C：

③のゲージについて載荷当初のひずみ振幅に対して値が 50%となる時点。

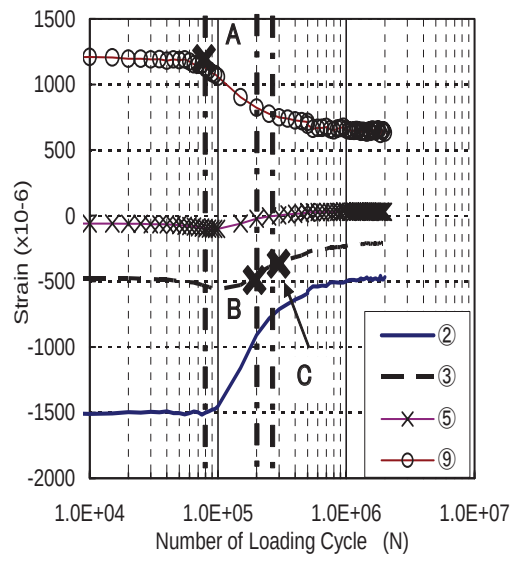
(なお、この時点はゲージ⑤が多くのケースで概ね 0 となる点と一致している)

これらの各状態変化点に至るまでの載荷回数をケース毎に整理したものを表 3.3.1，図 3.3.9 に示す。

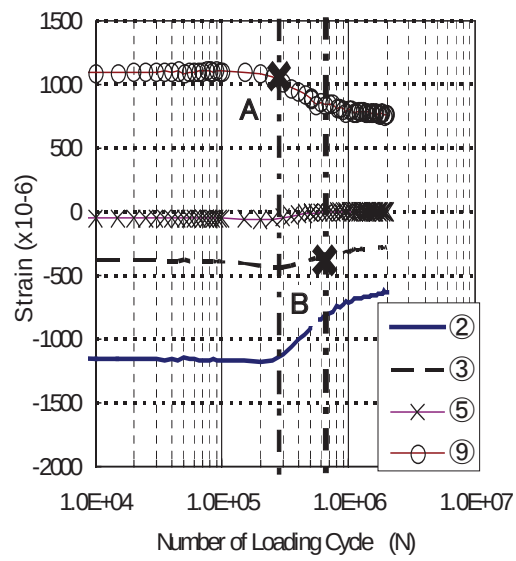
表 3.3.1 各変化点に至るまでの回数

ケース	D12U6	D12U8	D14U6	D14U8	D16U6	D16U8	D19U6	D19U8
状態変化点A (=ゲージ⑨変化率95%)	80,000	280,000	150,000	230,000	200,000	110,000	800,000	1,100,000
状態変化点B (=ゲージ③変化率95%)	200,000	640,000	300,000	600,000	580,000	310,000	1,600,000	1,600,000
状態変化点C (=ゲージ③変化率50%)	270,000	※	400,000	680,000	730,000	430,000	※	※

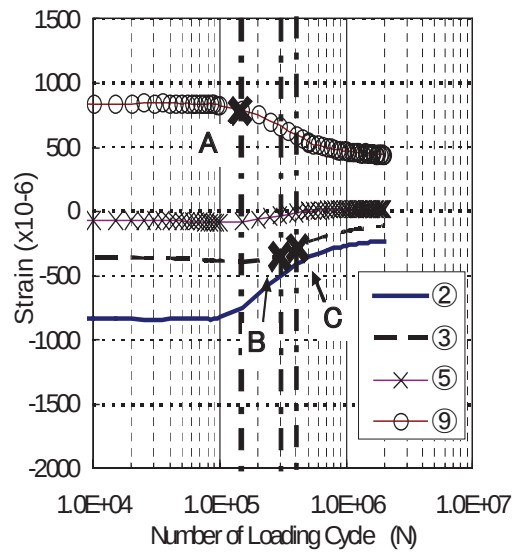
注) ※は、2,000,000回以上



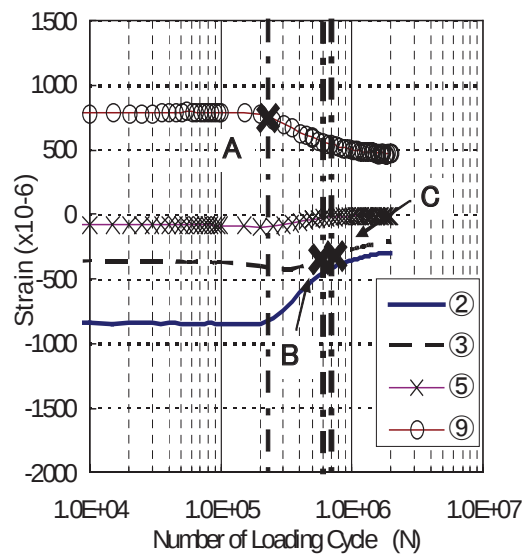
(a) D12U6



(b) D12U8

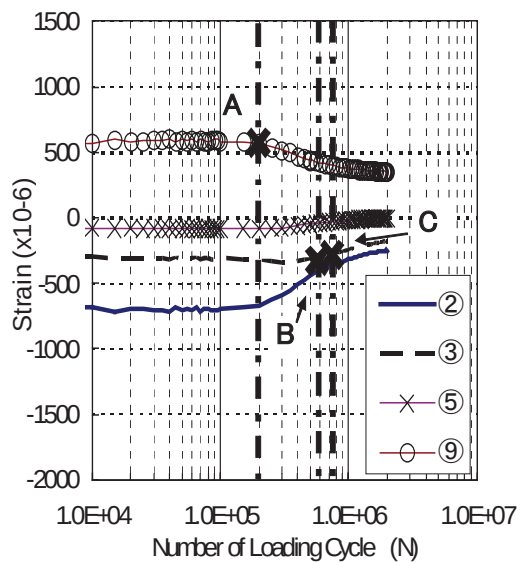


(c) D14U6

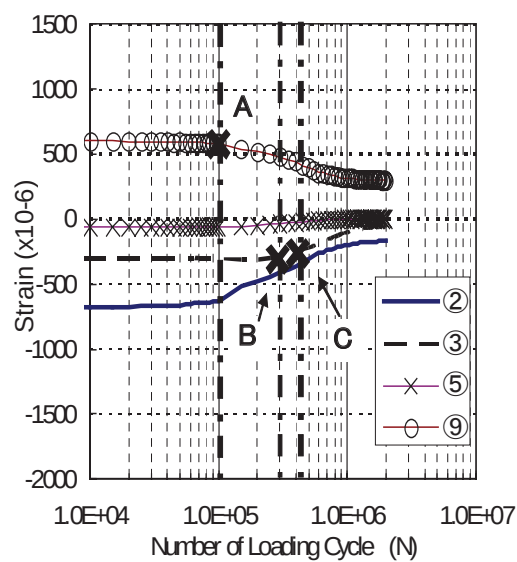


(d) D14U8

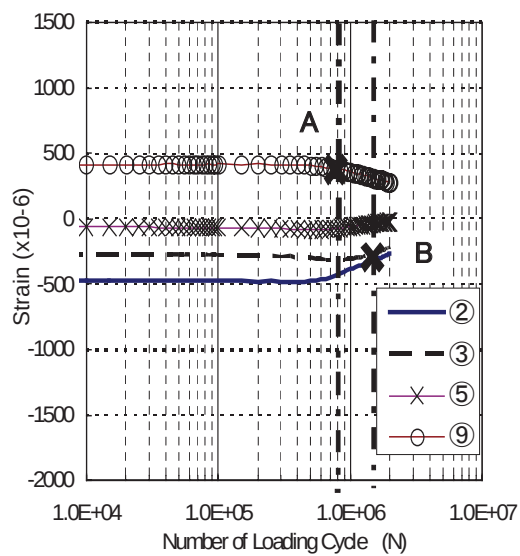
図 3.3.9(1) 計測点②③⑤⑨のひずみ振幅の変化と状態変化点(1)



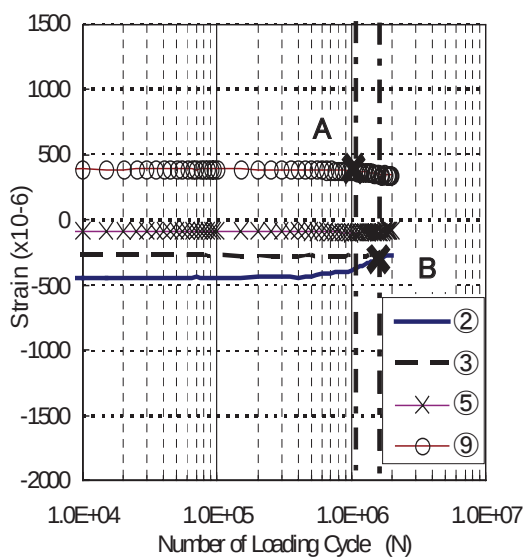
(e) D16U6



(f) D16U8



(g) D19U6



(h) D19U8

図 3.3.9(2) 計測点②③⑤⑨のひずみ振幅の変化と状態変化点(2)

3.3.3 疲労耐久性と板厚の関係

デッキプレートとトラフリブの板厚の組み合わせが異なる各ケースの定点載荷疲労試験で、各部位のひずみゲージで計測されるひずみ振幅の載荷回数の増加につれて変化する傾向について、初期のひずみ振幅からの変化率という共通の定義によって整理すると、破壊試験結果などから推測される疲労耐久性の大小に応じて同じ変化率に到達するまでに要する載荷回数の大小にある程度関係がみられる。

表 3.3.2 に、各ケースについて代表的なゲージ②③⑨について載荷初期段階におけるひずみ振幅に対して計測されるひずみ振幅が各変化率（95%～50%）に到達するまでの載荷回数を整理したものを示す。

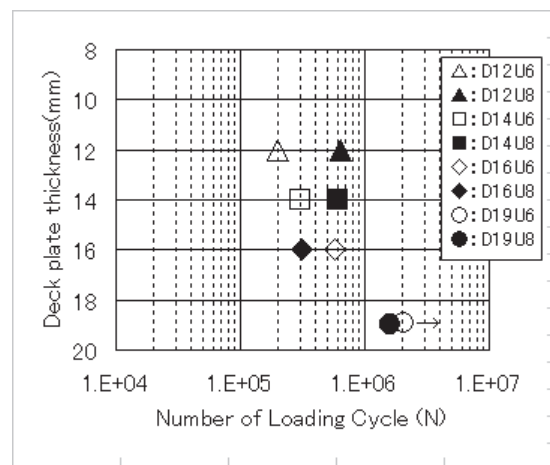
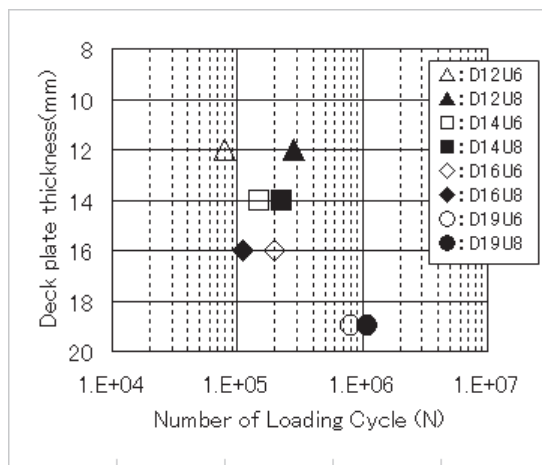
表 3.3.2 載荷回数とゲージ②③⑨のひずみ振幅の初期値に対する変化率の関係

ケース		D12U6	D12U8	D14U6	D14U8	D16U6	D16U8	D19U6	D19U8
デッキ厚 a (mm)		12	12	14	14	16	16	19	19
トラフリブ厚 b (mm)		6	8	6	8	6	8	6	8
$\frac{a \times b}{a + b}$		72	96	84	112	96	128	114	152
$\frac{a}{a + b} \times b$		410	547	533	710	669	891	895	1194
変化率	ゲージ②	95%	110000	330000	120000	250000	150000	70000	550000
		90%	120000	380000	150000	280000	220000	110000	850000
		85%	130000	450000	130000	320000	280000	120000	960000
		80%	140000	500000	150000	350000	320000	140000	1100000
		75%	160000	550000	210000	380000	360000	150000	1250000
		70%	170000	700000	240000	420000	400000	200000	1420000
		65%	185000	800000	270000	450000	450000	260000	1600000
		60%	200000	1080000	310000	500000	510000	310000	1900000
		55%	240000	1900000	360000	570000	610000	370000	
		50%	270000		400000	680000	730000	430000	
	ゲージ③	95%	200000	640000	300000	600000	580000	310000	1600000
		90%	230000	780000	330000	680000	670000	370000	1760000
		85%	250000	940000	370000	770000	790000	420000	1880000
		80%	280000	1080000	400000	860000	900000	440000	
		75%	310000	1700000	440000	980000	1020000	490000	
		70%	360000		480000	1150000	1120000	530000	
		65%	450000		520000	1400000	1360000	570000	
		60%	500000		600000	1750000	1620000	590000	
		55%	650000		680000	680000	1950000	660000	
		50%	950000		800000		720000		
	ゲージ⑨	95%	80000	280000	150000	230000	200000	110000	800000
		90%	95000	350000	200000	280000	250000	140000	950000
		85%	110000	450000	240000	350000	320000	220000	1150000
		80%	130000	520000	300000	400000	380000	300000	1350000
		75%	150000	800000	350000	500000	500000	380000	1600000
		70%	190000	1900000	420000	620000	600000	440000	1900000
		65%	250000		500000	850000	850000	520000	
		60%	400000		680000	1560000	1420000	590000	
		55%	550000		1150000			800000	
		50%					1400000		

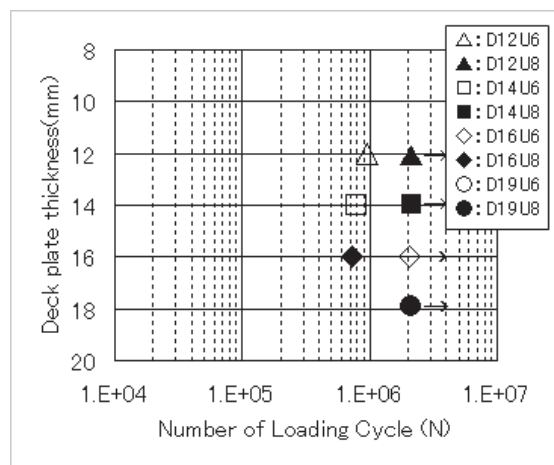
注) 表中空欄は 2,000,000 回段階で到達しなかったものである。

トラフリブとデッキプレートの板厚の組み合わせ条件と 3.3.2 で設定した同じ状態変化点に至るまでの載荷回数で定義した疲労耐久性の大小との関係を明らかにするために、板厚をパラメータとして各状態変化点までに要した載荷回数との関係を整理する。

デッキプレート板厚(a)と載荷回数の関係を図 3.3.10 に、トラフリブ板厚(b)と載荷回数の関係を図 3.3.11 にそれぞれ示す。

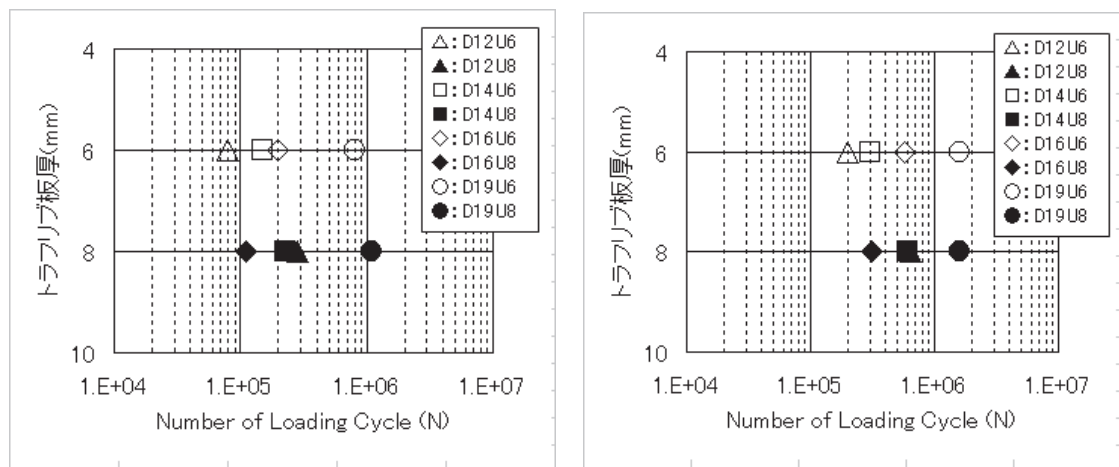


(a) 状態変化点 A (ゲージ⑨変化率 95%時) (b) 状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%時)

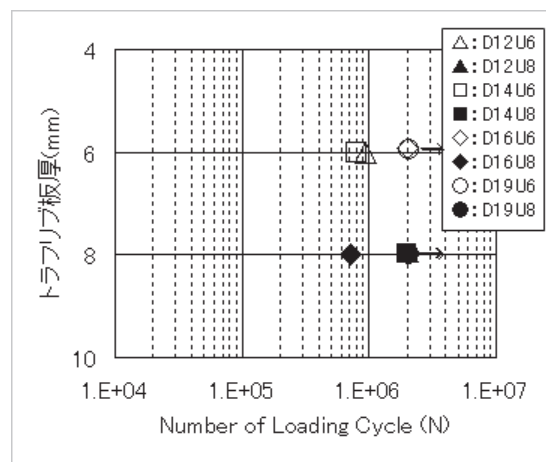


(c) 状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%時)

図 3.3.10 デッキプレート板厚と状態変化点までに要した载荷回数の関係



(a) 状態変化点 A (ゲージ⑨変化率 95%時) (b) 状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%時)



(c) 状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%時)

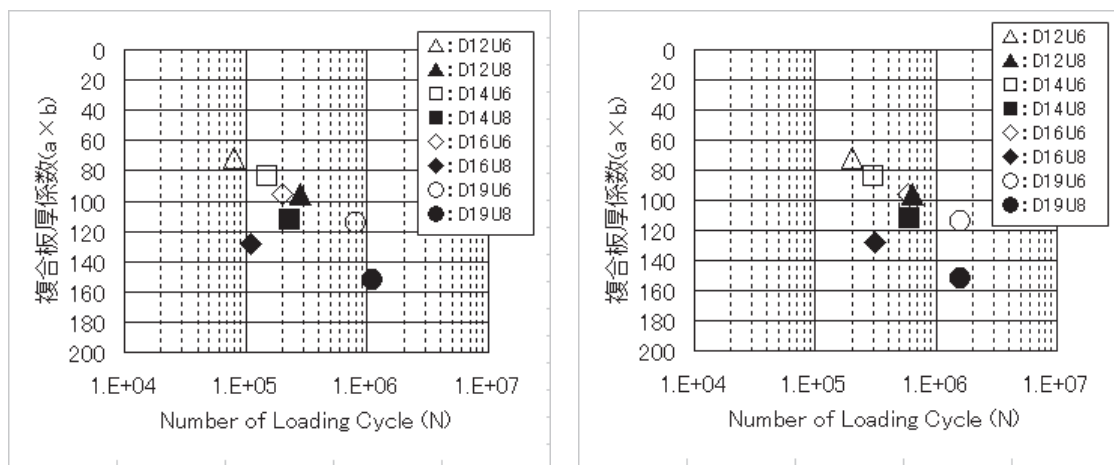
図 3.3.11 トラフリブ板厚と状態変化点までに要した載荷回数との関係

以上の通り、状態変化点 A, B に至るまでの載荷回数は D12U8 を除き、デッキプレート板厚の大小と比較的明確な相関関係が表現される。状態変化点 C については傾向は明確でない。

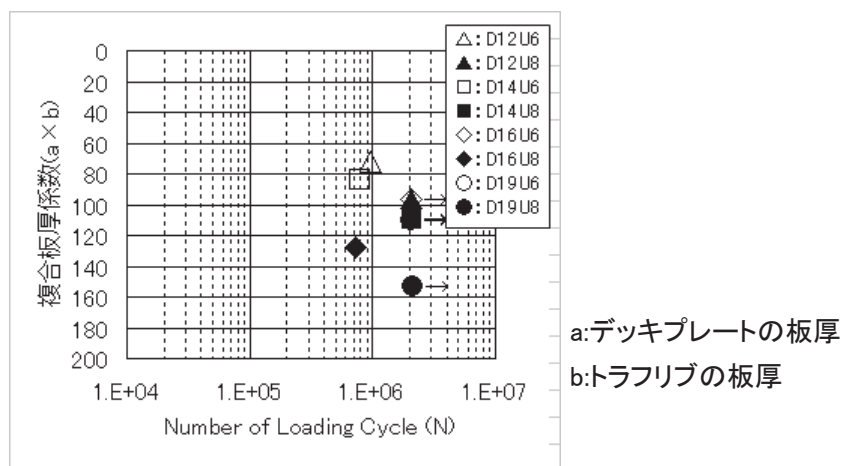
トラフリブ板厚だけで載荷初期段階からのひずみ振幅の値の変化程度で定義した状態変化点まで載荷回数との関係を整理した場合、状態変化点 A, B ではデッキプレート板厚の大小と載荷回数との関係はデッキプレート厚の異なるケースによって逆転するなど一概でない。

デッキプレート板厚とトラフリブ板厚の両方が疲労耐久性に寄与しているものと考えられることから、両方の板厚を組み合わせたパラメータと載荷回数との関係について整理する。

図 3.3.12 にデッキプレートとトラフリブ両方の板厚(mm)について同じ重みで積をとった値と載荷回数との関係を示す。



(a) 状態変化点 A (ゲージ⑨変化率 95%時) (b) 状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%時)

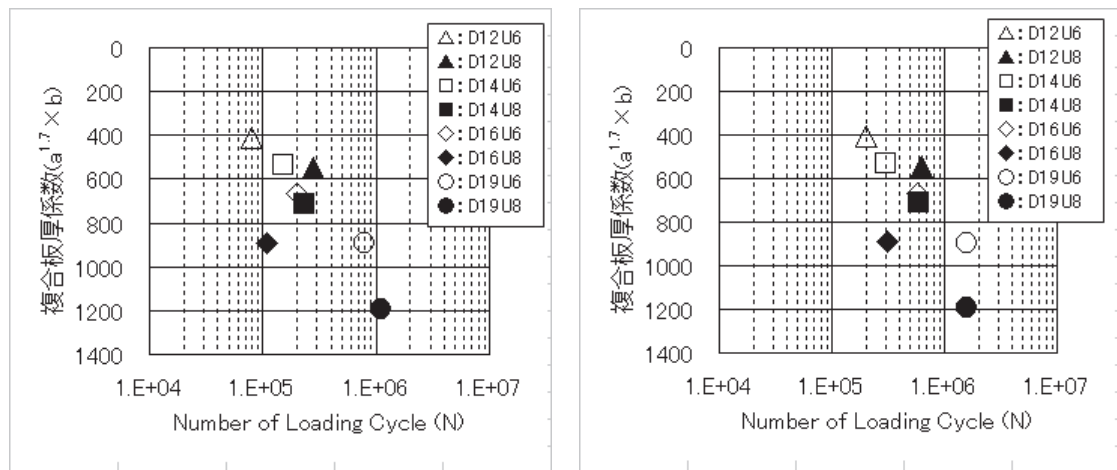


(c) 状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%時)

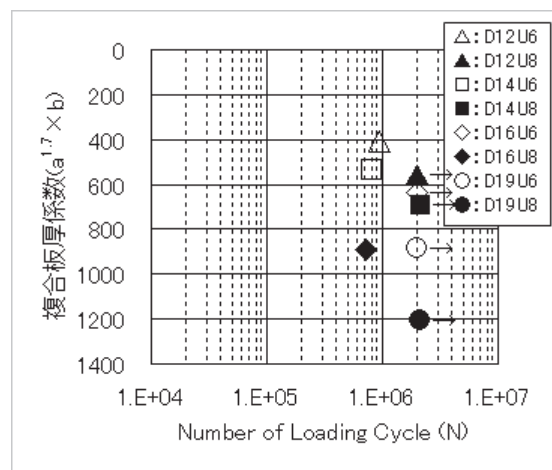
図 3.3.12 デッキプレートとトラフリブの板厚と状態変化点までに要した載荷回数の関係

デッキプレートとトラフリブの板厚を同時に考慮することで、デッキプレート板厚、トラフリブ板厚をそれぞれ単独で載荷回数と関係づけた場合に比べて、明らかに載荷回数との相対関係は明確である。

次に、載荷回数と板厚の効果の相対関係ができるだけ明確となるようトラフリブとデッキプレートの板厚の重みを変えた試算結果の例を図 3.3.13 に示す。重みは傾向ができるだけ一様となるよう試行錯誤して設定した板厚組み合わせ指標であり、この場合デッキプレート板厚 $a(\text{mm})$ の値の 1.7 乗とトラフリブ板厚 $b(\text{mm})$ の値 1 乗の積をとったものとなっている。



(a) 状態変化点 A (ゲージ⑨変化率 95%時) (b) 状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%時)



a:デッキプレートの板厚
b:トラフリブの板厚

(c) 状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%時)

図 3.3.13 デッキプレートとトラフリブの板厚組合せ指標と
状態変化点までの载荷回数との関係

これらの結果からは、デッキプレートとトラフリブ両方の板厚が疲労き裂進展抑制効果に寄与する程度を適切に考慮することで、デッキプレート貫通型のき裂に対する疲労耐久性の相対関係が表現できる可能性があるものと考えられ、本研究の载荷試験実施ケースでは、D16U8 以外のケースに対しては概ね一様な傾向で表現できる結果となった。

3.3.4 各部位のひずみの振幅と疲労耐久性の関係

本検討の対象とした道路橋の鋼床版のデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手のデッキプレート貫通型の疲労き裂の発生・進展は、荷重載荷に伴う複雑な応力変化を伴う挙動に起因することから設計基準等で規定される継手強度等級のように、公称応力のような平均的な応力と関連づけた疲労強度の差別化は困難である。

一方、構造細目が共通である本研究の各供試体ケースでは、デッキプレートとトラフリブ板厚の組み合わせにかかわらず同じ荷重の繰り返し載荷に対して概ね同じき裂進展の様相を呈した。

ここでは本構造の各部位（図 3.3.14 参照）で計測されたひずみ振幅の初期値の大小がき裂の発生や進展段階に至るまでの載荷回数との関係について整理する。

表 3.3.3、図 3.3.15～図 3.3.17 にゲージ①から⑨の載荷初期のひずみ振幅の値と 3.3.2 で定義した各状態変化点までの載荷回数の関係を示す。

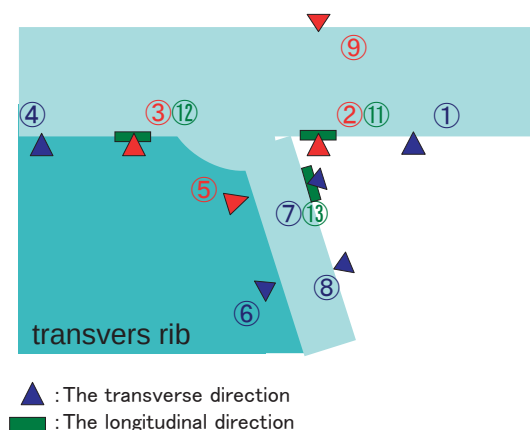
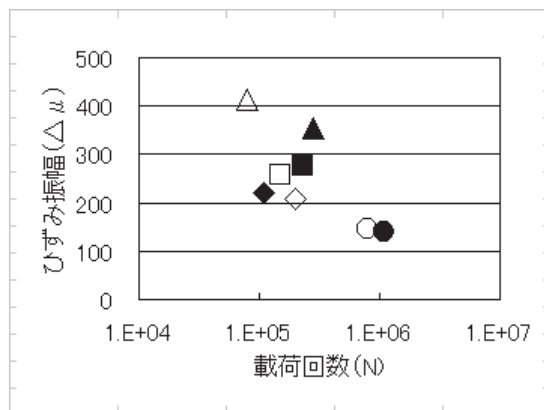


図 3.3.14 計測点

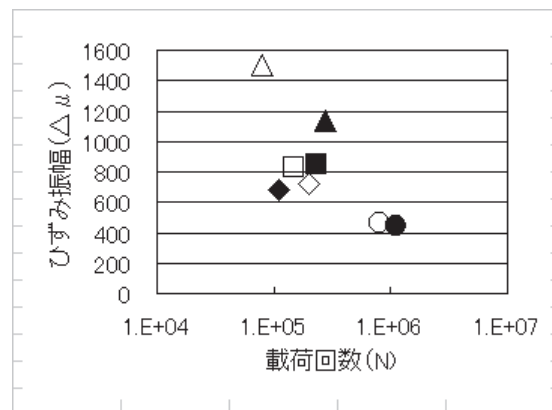
表 3.3.3 初期ひずみ振幅と状態変化点までの載荷回数

ケース	記号	状態変化点			ひずみゲージ（ひずみ振幅の値は各a～d平均）								
		⑨95%	③95%	③50%	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
D12U6	△	80000	200000	950000	414	1502	466	25	55	120	272	82	1203
D12U8	▲	280000	640000	※	353	1140	370	13	47	101	269	69	1088
D14U6	□	150000	300000	800000	257	831	351	34	66	105	242	88	837
D14U8	■	230000	600000	※	276	845	362	32	78	90	186	63	795
D16U6	◇	200000	580000	※	208	722	317	51	81	97	193	67	600
D16U8	◆	110000	310000	720000	221	677	300	47	61	87	134	60	603
D19U6	○	800000	1600000	※	145	461	267	64	64	102	165	78	403
D19U8	●	1100000	1600000	※	141	443	267	56	87	77	127	56	387

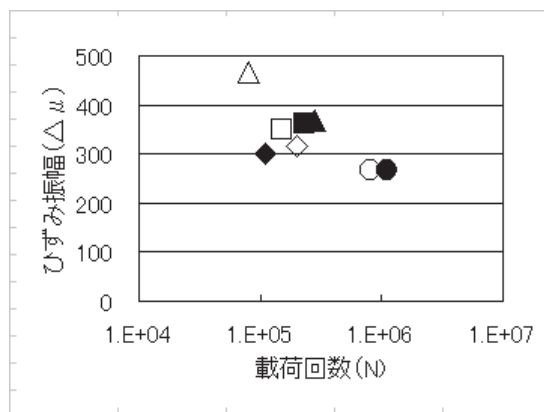
※：2,000,000回以上



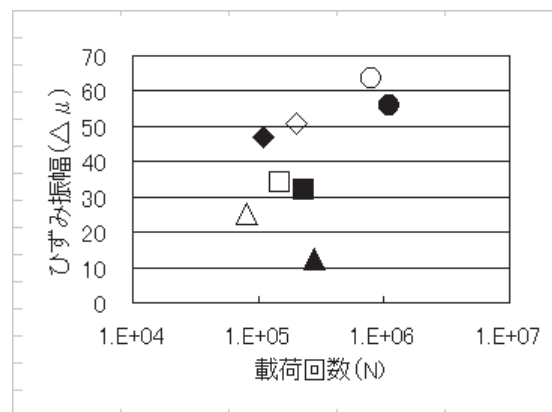
(a) ゲージ①



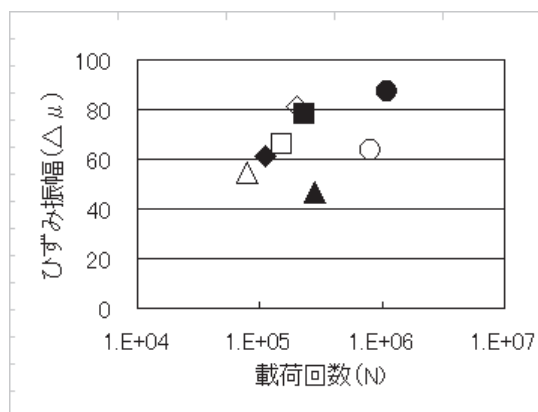
(b) ゲージ②



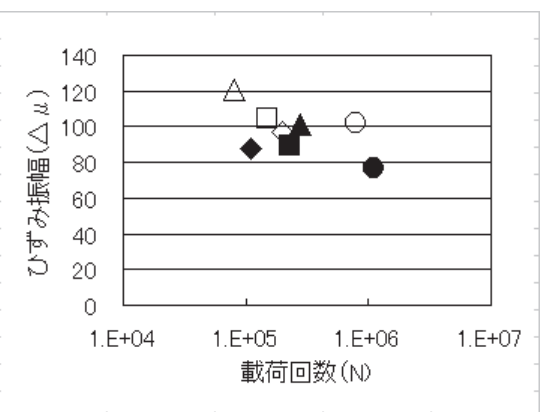
(c) ゲージ③



(d) ゲージ④

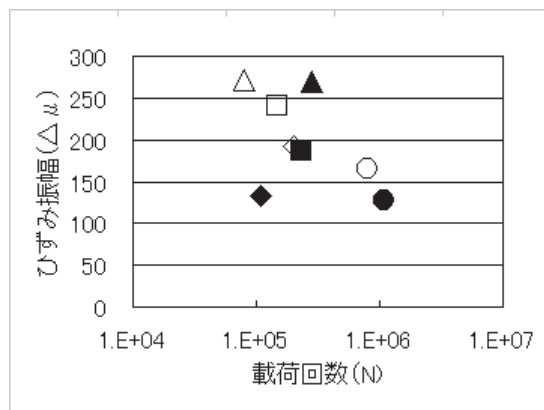


(e) ゲージ⑤

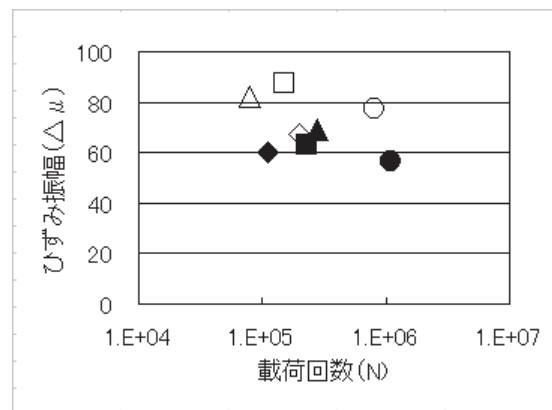


(f) ゲージ⑥

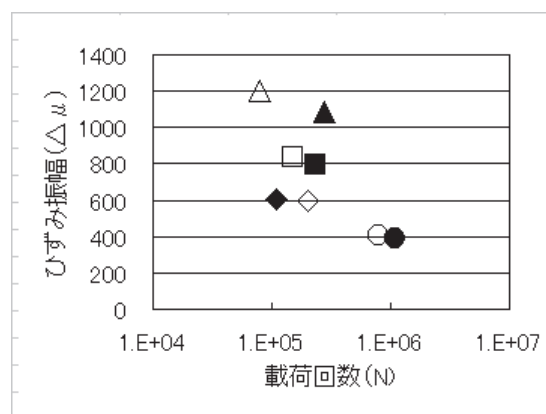
図 3.3.15(1) 初期ひずみ振幅と状態変化点 A（ゲージ⑨変化率 95%）までの
 載荷回数の関係



(g) ゲージ⑦

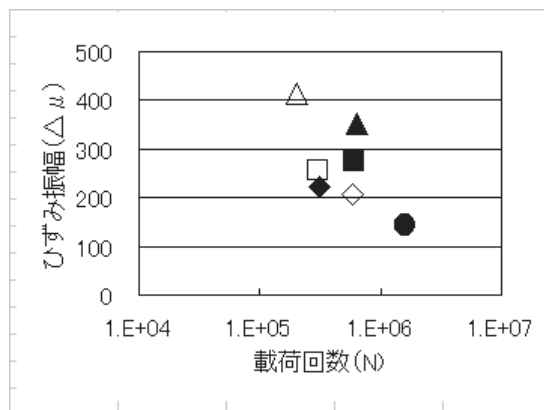


(h) ゲージ⑧

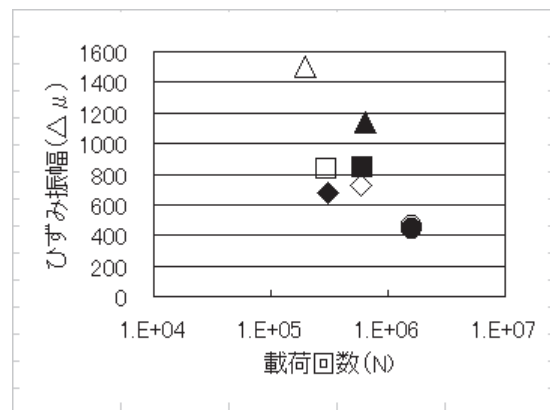


(i) ゲージ⑨

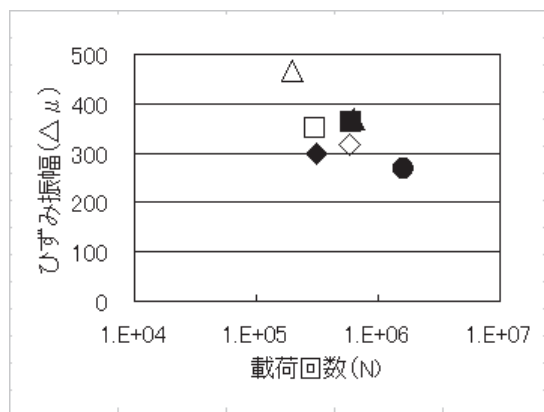
図 3.3.15(2) 初期ひずみ振幅と状態変化点 A (ゲージ⑨変化率 95%) までの
载荷回数の関係



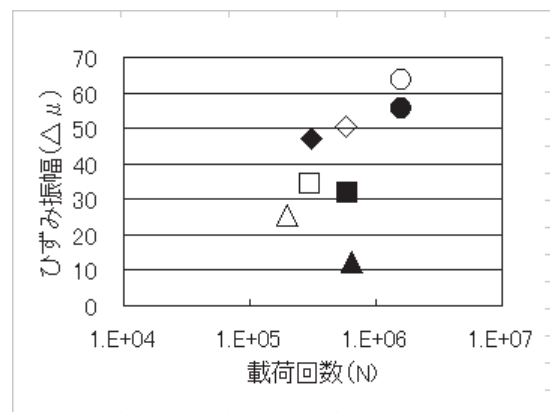
(a) ゲージ①



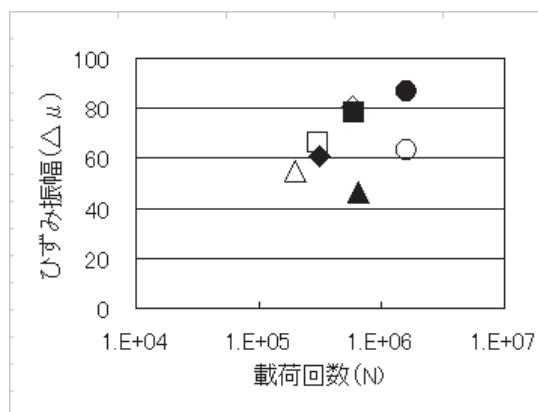
(b) ゲージ②



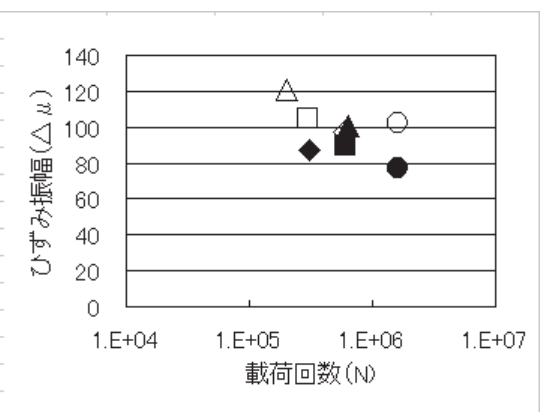
(c) ゲージ③



(d) ゲージ④

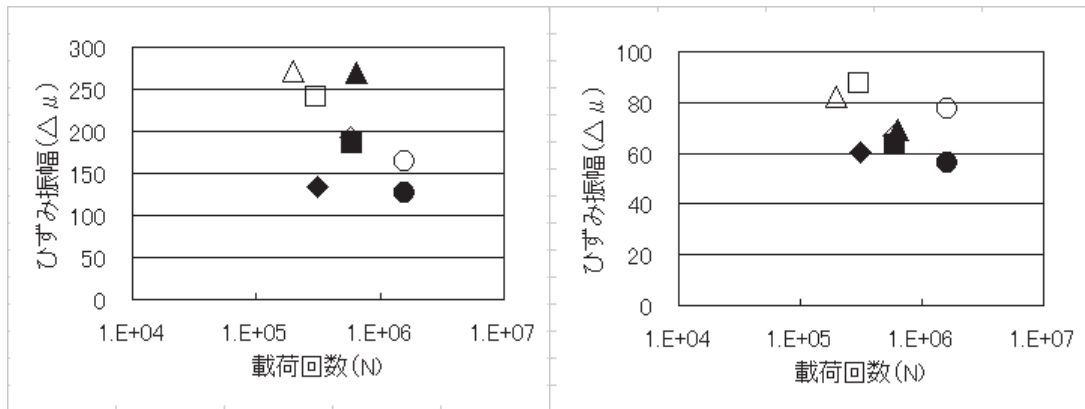


(e)ゲージ⑤



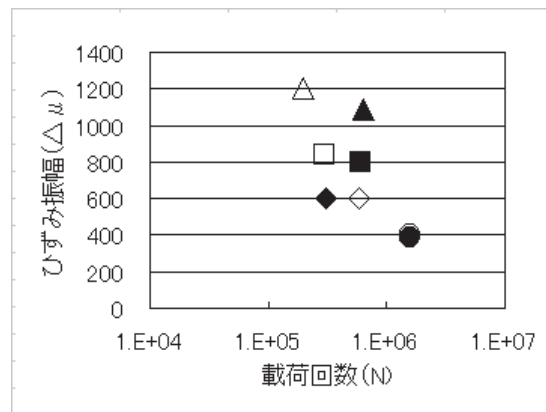
(f)ゲージ⑥

図 3.3.16(1) 初期ひずみ振幅と状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%) までの
 載荷回数の関係



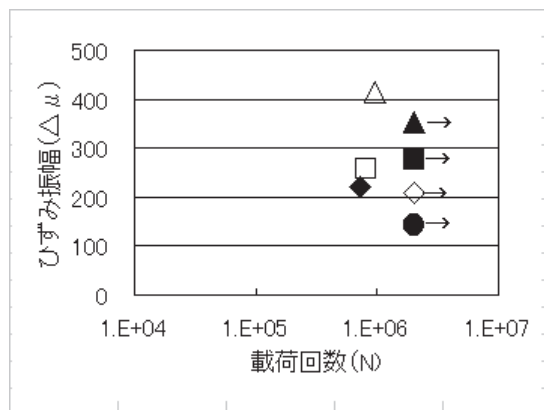
(g) ゲージ⑦

(h) ゲージ⑧

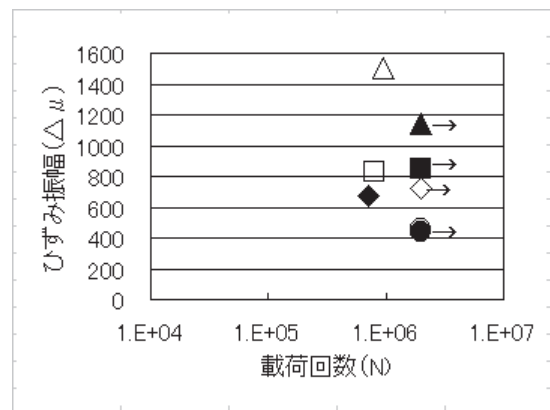


(i) ゲージ⑨

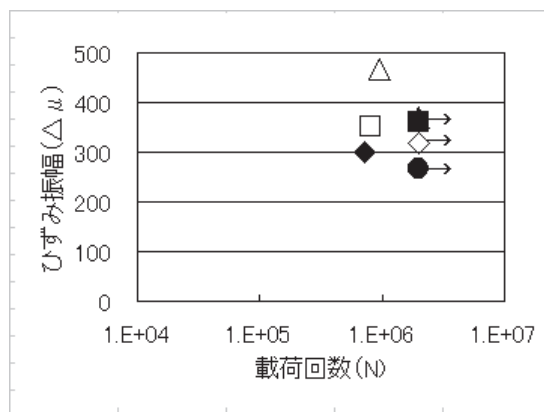
図 3.3.16(2) 初期ひずみ振幅と状態変化点 B (ゲージ③変化率 95%) までの
 載荷回数の関係



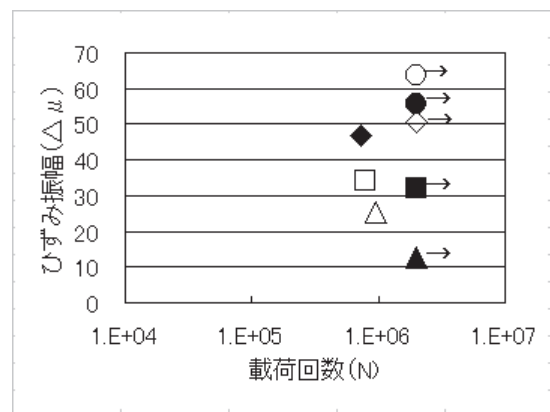
(a) ゲージ①



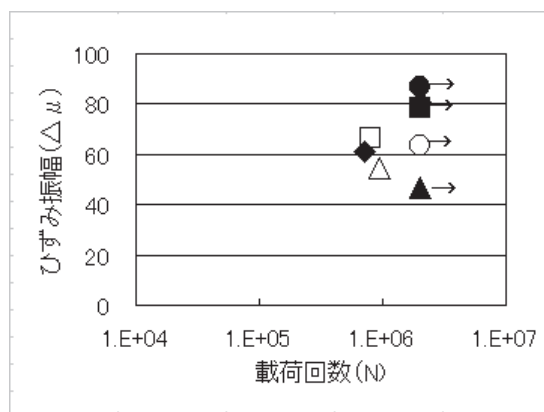
(b) ゲージ②



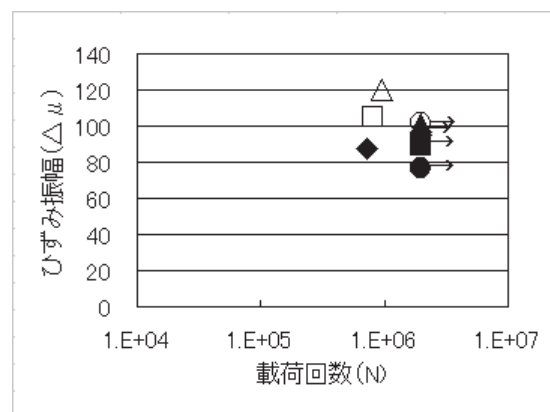
(c) ゲージ③



(d) ゲージ④

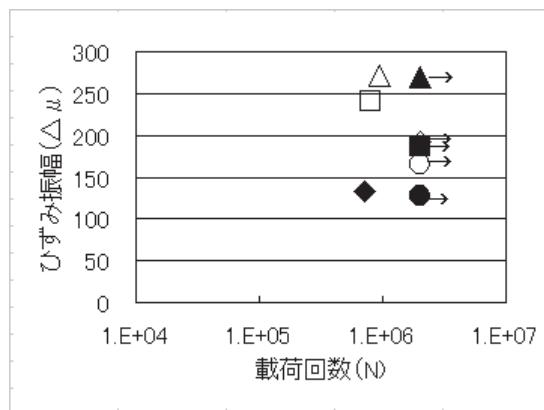


(e) ゲージ⑤

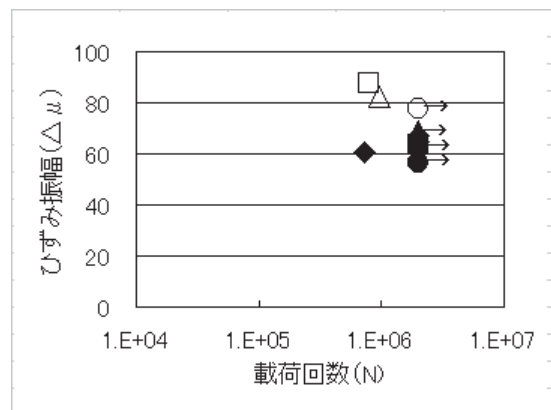


(f) ゲージ⑥

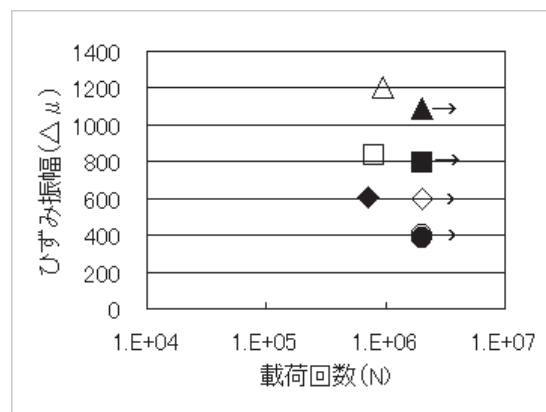
図 3.3.17(1) 初期ひずみ振幅と状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%) までの
载荷回数の関係



(g) ゲージ⑦



(h) ゲージ⑧



(i) ゲージ⑨

図 3.3.17(2) 初期ひずみ振幅と状態変化点 C (ゲージ③変化率 50%) までの
载荷回数との関係

以上より、状態変化点 A 及び B については、ゲージ①②③⑥⑦⑨で初期のひずみ振幅と
载荷回数に右肩下がりの比較的顕著な傾向がみられる。状態変化点 C は、载荷試験を打ち
切った 200 万回载荷時点で到達していないケースが多くあるため最終的にどのような傾向
を示すのか明確でないが、状態変化点 A 及び B 同様にゲージ①②③⑥⑦⑨では少なくとも
デッキプレートとトラフリブそれぞれ板厚が大きいケースほど载荷回数が大きくなる傾向
は明らかである。

3.3.5 まとめ

- 定点載荷試験の結果、デッキプレート板厚 12mm～19mm，トラフリブ板厚 6，8mm を組み合わせた鋼床版の横リブ交差部では定点の繰り返し載荷によって類似のデッキプレート貫通方向に進展するき裂が生じた。そのため基本的な耐荷力機構や疲労き裂の発生・進展の特性に関わる局部の応力変動の傾向は類似の特徴を有するものと考えられる。
- デッキプレート板厚とトラフリブ板厚のそれぞれについて板厚増はデッキプレート貫通き裂に着目した疲労耐久性の向上に有効であり，特にデッキプレートの板厚の影響がトラフリブの板厚よりも顕著である。
- デッキプレート板厚とトラフリブ板厚のそれぞれの増は，鉛直荷重に対するデッキプレートとトラフリブの縦方向溶接継手近傍各部のひずみ振幅を低減させ，その効果によりデッキプレート貫通き裂の発生・進展に対する疲労耐久性向上に寄与している可能性が高い。
- デッキプレート貫通き裂の進展によって荷重支持構造に変化が生じることに着目し，同じ荷重に対するひずみ振幅の健全な状態（初期段階）からの変化の程度によって異なる板厚の組み合わせの鋼床版構造について疲労耐久性の評価に用いることのできる状態変化点を共通に定義できる可能性がある。
- 実橋の供用下で実測などによって評価が可能な部位・位置の応答として，変化挙動が各ケースで安定し信頼性が期待できる③のひずみゲージ位置でのひずみ振幅の変化に着目することで，例えば初期状態に対して応答が 5%変化した時点を疲労耐久性上無視できないき裂損傷が発生したとみなせる時点と定義して健全性評価の参考とできうるものと考えられる。